HAL open science

Les quantités dans la nature

Julien Tricard

▶ To cite this version:

Julien Tricard. Les quantités dans la nature. Philosophie. Sorbonne Université, 2019. Français. NNT : . tel-02443357

HAL Id: tel-02443357
https://hal.science/tel-02443357v1

Submitted on 17 Jan 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

SORBONNE UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE 5

Laboratoire de recherche SND

T H È S E

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ SORBONNE UNIVERSITÉ

Discipline : Philosophie

Présentée et soutenue par :

Julien TRICARD

Le 5 décembre 2019

Les quantités dans la nature

Les conditions ontologiques de l'applicabilité des mathématiques

Sous la direction de :

Mme Anouk BARBEROUSSE – Professeur, Sorbonne Université

Membres du jury :

M. Maximilian KISTLER – Professeur, Université Paris I Panthéon-Sorbonne

M. Michael ESFELD – Full Professor, University of Lausanne

M. Jean-Baptiste RAUZY – Professeur, Sorbonne Université

À mon grand-père.

Remerciements

Cette thèse a été réalisée sous la direction d'Anouk Barberousse, dont je ne saurais assez remercier l'exigence, la disponibilité et la bienveillance. Je la remercie tout particulièrement pour sa lecture et ses conseils précieux de réécriture, sur chacun des chapitres de cette thèse. Je lui suis aussi reconnaissant de la conjugaison d'autonomie et d'ardeur qu'elle m'a laissée, de sa constante exigence de clarté lors de nos séances de travail, ainsi que de la franchise de ses encouragements. Ce travail lui doit énormément.

Bien entendu, il n'aurait pu être mené à son terme sans le soutien apporté par Sorbonne Université, dans le cadre d'un contrat doctoral puis d'un poste d'Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche (ATER). Je remercie les responsables de l'UFR de philosophie et enseignants-chercheurs dont j'ai assuré les travaux dirigés : Stéphane Chauvier, David Lefebvre, Hélène L'Heuillet, Pascal Ludwig, Cédric Paternotte, Raphaël Ehrsam, Pierre-Henri Tavoillot et Michel Puech.

Cette thèse doit beaucoup au séminaire de recherche organisé avec Marina Imocrante (IHPST), que je tiens à remercier pour son soutien, son écoute critique et son enthousiasme, et grâce à qui j'ai pu travailler avec des chercheurs et chercheuses dont les conseils scientifiques ont été déterminants : Jean-Baptiste Rauzy, Vincent Ardourel, Michele Ginammi, Sorin Bangu, Fabrice Pataut, Arezoo Islami. Je tiens à remercier Jean-Baptiste Rauzy et Max Kistler, dont les questions, conseils et encouragements lors d'un colloque m'ont non seulement nourri, mais aiguillonné.

Le laboratoire Sciences, Normes et Décision (SND) fut un lieu de travail, de conseils et d'amitiés. Je remercie Isabelle Drouet, Juliette Ferry-Danini, Pascal Ludwig, Émile Thalabard, Tim Daly, Sarah Yvonnet, Patricia Mirabile, Mathias Michel, Yves Serra, et Guillaume Dechauffour pour leur audience affutée et leur camaraderie. La même gratitude revient à mes amis de Philo'Doctes, Samuel Webb et Raphaël Authier, et à mes amis de bibliothèque, Pierre Jeandillou, Florian Rada, Louis Rouillé, qui m'accompagnaient dans les moments de doute comme et de progrès.

De bibliothèque, il n'y en eut qu'une, car elle fut idéale. Je remercie donc de tout cœur Nathalie Queyroux et David Denéchaud, et le Centre d'Archives en Philosophie, Histoire et Édition des Sciences (CAPHÉS), qui fut mon lieu naturel pendant quatre années. Sans leur aide, pour la recherche et l'acquisition d'ouvrages, sans le cadre exact et familier qu'ils m'ont offert, je ne crois pas que ma thèse serait finie.

Cette thèse n'aurait jamais pu aboutir dans le soutien toujours vaillant de mes amis et de mes proches. Alors que soient remerciés, dans un ordre qui n'est pas ontologiquement fondé : Lucie, Marion P., Pierre A., Clémence, Fanny, Loris, Francine, Jeanne, Henri, Delphine, Marion B., Julien, Rudy, Pierre C., Laura, Kevin, Adrien, Grégoire, Claire D., Chloé, Thibaut, Pierre-Arnaud, Laurie ; deux ont

eu la force de me relire, Michael Foessel et Marouane Essadek, que je remercie profondément. Je pense aussi à ma filleule Ariane et ses parents Claire et Quentin. Ma gratitude va également à Raphaël, Thomas C., Dominique, Marie-Stéphane, Trufo, Thomas L., Karine et tous mes amis d'Aprime, dont le retour régulier, entre de longues apnées en bibliothèque, était une respiration essentielle.

Mes remerciements les plus profonds vont à Antoine, qui m'a accompagné, soutenu et fortifié tout le long de ces quatre années.

Enfin, sans ma mère, mon père et mon frère Arnaud, je n'aurais eu ni le courage ni la force d'entreprendre des études aussi longues, et je suis très heureux de pouvoir enfin les en remercier.

Table des matières

REMERCIEMENTS 5

TABLE DES MATIERES 7

INTRODUCTION 19

1. Réalisme scientifique et applicabilité des mathématiques. 19

1.1. Du réalisme scientifique à l'ontologie des propriétés et des lois de la nature. 19

1.2. Les questions posées par l'applicabilité des mathématiques en physique. 21

2. Déroulé et méthode de l'argumentation. 22

2.1. Première partie : une ontologie générale des propriétés. 23

2.2. Deuxième partie : ontologie des quantités et application des mathématiques à la mesure. 24

2.3. Troisième partie : ontologie des lois de la nature et application des mathématiques aux énoncés nomologiques. 26

PREMIERE PARTIE : L'ALPHABET QUANTITATIF DE L'ETRE 31

CHAPITRE I : LE PROBLEME DES PROPRIETES 33

1. Le réalisme et le problème métaphysique des propriétés. 34

1.1. Être réaliste à l'égard des propriétés ? 34

1.2. Le problème métaphysique des propriétés génériques. 37

1.2.1. Propriété générique et ressemblance. 38

1.2.2. Conditions de particularité et de généricité. 39

1.2.2.1. Deux conditions vérifactionnelles. 39

1.2.2.2. La sémantique n'est pas une voie d'accès à l'ontologie. 41

1.2.2.3. Deux problèmes distincts ? 42

1.3. Victoire et défaite de la particularité. 43

1.3.1. La « victoire de la particularité » (Armstrong). 43

1.3.2. La défaite de la particularité. 44

1.3.3. Nouvelle formulation du problème des propriétés génériques. 46

2. La voie des tropes ou l'impasse des particuliers abstraits. 47

2.1. Tropes et analyses de la ressemblance et de la prédication. 48

2.2. Les objections d'Armstrong et les réponses tropistes. 48

2.3. La critique de la ressemblance exacte. 50

2.3.1. La critique par Armstrong de la ressemblance exacte. 51

2.3.2. Notre critique de la ressemblance exacte. 52

2.3.2.1. La distinction par les particuliers concrets. 52

2.3.2.2. La distinction par les localisations spatio-temporelles. 53

2.3.2.3. La distinction par la particularité primitive. 53

2.4. Les particuliers dispersés et la défaite de la particularité. 56

3. La fiction des états de choses : une critique d'Armstrong. 57

3.1. La théorie des états de choses comme solution au problème des propriétés. 58

3.1.1. Les états de choses comme solution au problème des propriétés. 59
3.1.2. États de choses et (non-)analyse de l'instanciation. 59
3.2. Critique de la théorie armstrongienne des états de choses. 61
3.2.1. La primitivité des états de choses empêche de satisfaire la condition de généricité. 62
3.2.2. La notion de « types d'états de choses » chez Armstrong. 63
3.2.2.1. États de choses et types d'états de choses. 64
3.2.2.2. Types d'états de choses et universaux structuraux. 65
3.3. Armstrong face à un nouveau type de régression. 67
3.3.1. Une possible solution au problème des propriétés. 67
3.3.2. Le blocage apparent de la régression. 68
3.4. L'existence du type au prix de l'abstraction. 70
3.4.1. Le principe d'existence des types d'états de choses en question. 71
3.4.2. L'abstraction en contrebande. 73
4. Conclusion. 75

CHAPITRE II : ABSTRACTIVITE ET CRITIQUE DES NOMINALISMES 77

1. L'abstractivité des cas particuliers. 77
1.1. Réalisme et régression. 78
1.2. Le blocage de la régression réaliste. 80
1.3. L'abstractivité et la ressemblance analytique. 83
1.3.1. La ressemblance fine n'est pas suffisante à fonder la commune appartenance. 83
1.3.2. La ressemblance épaisse suppose-t-elle des universaux ? 84
1.3.3. L'abstractivité des tropes. 85
2. Abstractivité et critique du nominalisme de la ressemblance. 86
2.1. Le nominalisme analytique de la ressemblance. 87
2.1.1. Le nominalisme analytique et le « nominalisme de l'autruche ». 87
2.1.2. Usages projectifs, analytiques et problématiques des catégories. 88
2.1.3. Le nominalisme analytique de la ressemblance (NAR). 90
2.1.3.1. Les différents nominalismes analytiques concevables. 90
2.1.3.2. Insuffisance du nominalisme analytique de classe. 91
2.1.3.3. Le nominalisme de la ressemblance est le seul analytique. 92
2.2. Critique du nominalisme de la ressemblance. 93
2.2.1. Cadre problématique et historique. 93
2.2.1.1. Cadre problématique. 94
2.2.1.2. Cadre historique. 95
2.2.2. L'aporie de la ressemblance primitive. 99
2.2.2.1. Le statut ontologique de la relation de ressemblance. 100
2.2.2.2. Les régressions de la ressemblance. 101
2.2.2.3. Entre le nominalisme de l'autruche et l'admission de tropes de ressemblance. 103
2.2.3. La ressemblance sans abstraction n'est que problématique. 105
2.2.3.1. Les trois usages de la ressemblance. 106
2.2.3.2. La difficulté fondamentale 108
2.2.3.3. La tentation des paradigmes. 109

2.2.3.4. Le problème de l'identité et distinction des classes. 111
2.2.4. Conclusion concernant le nominalisme analytique de la ressemblance. 113
2.3. Conclusion : lever l'hypothèque de la ressemblance sur le problème des propriétés génériques. 114
2.3.1. La contrainte pesante de la ressemblance. 114
2.3.2. Ressemblance, intensionalité et naïveté ontologique. 116
3. Critique du nominalisme de l'autruche. 117
3.1. Comment montrer l'existence des propriétés ? 117
3.1.1. La voie directe et la voie problématique. 118
3.1.2. Cadre problématique de l'opposition nominalisme vs. réalisme. 120
3.1.3. La particularité des particuliers empiriques n'est pas empirique. 122
3.2. Une différence non-qualitative au fondement de la distinction numérique. 124
3.2.1. Les distinctions qualitative et spatio-temporelle. 125
3.2.2. Les différences non-qualitatives. 126
3.3. L'individualité et le problème des propriétés. 129
3.3.1. Individualité et identité. 129
3.3.2. Pourquoi nous de devrions pas adopter (PN) : le piège nominaliste. 131
4. Conclusion 134

CHAPITRE III : THEORIE DES DETERMINATIONS ET VARIATIONS QUANTITATIVES 135

1. La thèse des déterminations quantitatives (DQ). 136
1.1. DQ est une thèse sur la particularité. 136
1.2. DQ est une théorie des tropes quantitatifs. 137
1.2.1. L'originalité de la théorie des tropes. 138
1.2.2. Les particuliers comme « natures particulières » (Campbell). 139
1.3. L'existence comme détermination. 141
1.4. Pourquoi des « déterminations » ? Et pourquoi « quantitatives » ? 143
1.4.1. Déterminables et déterminations. 144
1.4.2. Pourquoi « quantitatives » ? 146
1.5. Les déterminations quantitatives comme solution à la première partie du problème métaphysique des propriétés. 147
2. La thèse des variations quantitatives (VQ). 147
2.1. Les déterminations quantitatives sont des abstracta. 148
2.2. Les variations quantitatives, solution au problème des propriétés. 151
2.2.1. Le concept des variations quantitatives. 151
2.2.2. VQ résout le problème des états de choses armstrongiens. Les déterminations quantitatives comme « états de fait ». 152
2.2.2.1. La réponse de DVQ à Q_1. 153
2.2.2.2. Le retour du problème de la distinction des classes. 154
2.2.3. Abstraction et appartenance commune. 155
2.3. Typicité et généricité. 156
2.3.1. Les types, objets « abstraits » ? 157
2.3.1.1. Les trois sens d'« abstrait ». 157
2.3.1.2. Le sens de la question : « Y a-t-il des universaux non-instanciés ? » 159

2.3.2. Types, universaux, classes. 160
2.3.2.1. La distinction entre types et universaux. 161
2.3.2.2. La gratuité ontologique du type. 163
2.3.2.3. La distinction entre type et classe naturelle. 164
2.3.3. Conclusion. 165
3. Argument vérifactionnel en faveur de DVQ. 166
3.1. Particularité et généricité réunies. 166
3.2. Élimination du superflu ontologique. 168
3.2.1.1. Élimination des universaux. 169
3.2.1.2. Élimination des particuliers fins. 170
4. Distinctio solo numero : les variations quantitatives discrètes. 174
4.1. Une objection puissante et doublement motivée. 174
4.2. Réponse à la dimension empirique de l'objection. 176
4.2.1. Réponse de principe. 177
4.2.2. Traitement par DQ de divers exemples empiriques. 178
4.2.2.1. Cas de deux états physiques qui seraient la même détermination d'une grandeur donnée, pour une raison empirique. 178
4.2.2.2. Cas de deux états qui possèdent la même détermination d'une grandeur donnée, pour une raison mathématique. 178
4.2.2.3. Cas de deux états qui possèdent la même détermination d'une grandeur donnée, pour une raison théorique. 181
4.2.3. Et l'induction ? 184
4.3. Qu'est-ce que la différence numérique ? 185
4.3.1. Quantités discrètes et individualité. Typologie des particularités primitives. 186
4.3.2. La négation de l'individualité ontologique. 187
4.3.2.1. Argument sémantique contre la notion ontologique d'« individualité ». 188
4.3.2.2. Doutes sur ce que la notion de différence d'individualité permettrait réellement de fonder. 190
4.3.3. Le lien entre type d'états de choses et nombres chez Armstrong. 191
4.3.4. La distinction numérique est la variation quantitative propre aux types sortaux. 193
4.3.4.1. La distinction numérique comme variation quantitative. 194
4.3.4.2. « Être numériquement distinct » comme détermination quantitative. 195
4.3.5. Deux avantages de DQTS. 199
4.3.6. Conclusion. 202

DEUXIEME PARTIE : LA QUANTIFICATION DES PHENOMENES. 205

CHAPITRE IV : UN REALISME DES GRANDEURS PHYSIQUES. 207

1. Introduction à l'ontologie des quantités. 207
1.1. Un réalisme des grandeurs physiques. 208
1.1.1. La théorie DVQ des grandeurs. 208
1.1.2. La nécessité d'une ontologie du « quantitatif ». 210
1.1.2.1. L'obscurité du « quantitatif ». 210

1.1.2.2. La distinction du quantitatif et du numérique. 211
1.2. Introduction aux problèmes de l'ontologie des quantités. 212
1.2.1. Une analyse économique du quantitatif. 214
1.2.1.1. La structure de détermination de Johnson 214
1.2.1.2. Combien de propriété(s) pour analyser une seule grandeur physique ? 216
1.2.2. Une analyse propre du quantitatif. 218
2. Théorie relationnelle contre théorie substantialiste des déterminations quantitatives.....220
2.1. Théorie relationnelle contre théorie substantialiste des quantités. 220
2.1.1. La théorie relationnelle de Bigelow et Pargetter. 221
2.1.2. La théorie substantialiste d'Armstrong-Forrest. 223
2.1.2.1. La distinction de l'ordinal et du métrique. 224
2.1.2.2. La théorie des nombres d'Armstrong-Forrest. 226
2.2. Arguments. 229
2.2.1. Les déterminations quantitatives sont-elles relationnelles ? 229
2.2.2. Trois critiques par Armstrong de la théorie relationnelle. 231
2.2.2.1. Première critique. 231
2.2.2.2. Deuxième critique. 232
2.2.2.3. Troisième Critique. 234
2.2.3. Trois critiques de la théorie substantialiste. 234
2.2.3.1. Les trois problèmes posés par la théorie d'Armstrong. 235
2.2.3.2. La critique d'Eddon. 237
2.2.4. Nombres et unité(s) naturelle(s). 241
2.2.5. Les déterminations quantitatives sont-elles des états de fait absolus ? 244
3. La théorie DVQ comme ontologie des structures relationnelles de détermination. 246
3.1. La signification de la querelle entre théories relationnelles et monadiques. 246
3.2. La querelle du substantialisme et du relationnisme au sein de la théorie DVQ. Le tournant vers une lecture structuraliste de DVQ. 249
3.2.1. DVQ est une théorie relationnelle de la détermination des quantités. 249
3.2.2. Mais DVQ est une théorie relationnelle de l'instanciation des quantités. 250
3.2.2.1. Réponse à la critique d'Armstrong. 251
3.2.2.2. Réponse à l'argument de Swoyer. 252
3.2.3. La thèse de l'Actualité de toutes les Possibilités Physiques (APP). 255

CHAPITRE V : LA MESURE, APPROCHE OPERATIONNELLE 259

1. Introduction générale au problème de l'objectivité métrique. 259
1.1. La mesurabilité des propriétés physiques. L'approche par l'objectivité contre le naturalisme. 260
1.2. Le problème de l'objectivité de la mesure. 263
1.3. Structure : objectivité, ontologie et prédication. 265
1.3.1. Richesse de la structure et mesurabilité. 265
1.3.2. Opposition de deux ontologies de la mesure. 267
1.3.2.1. Opposition de deux ontologies de la mesure. 267
1.3.2.2. Éclaircissement des problèmes. 268
1.3.2.3. Plan des deux prochains chapitres. 269

2. La construction des Systèmes de Référence Métrique (SRM) et l'échec de l'opérationalisme. 270
2.1. Qu'est-ce qu'un SRM ? 271
2.2. Les conventions opératoires de l'instrumentation. 274
2.3. La convention de l'étalon. 276
3. Les difficultés de l'opérationalisme. 277
3.1. L'empirisme extrême et la signification d'une détermination métrique. 277
3.2. Les difficultés classiques de l'opérationalisme. 278
3.2.1. Première difficulté. 278
3.2.2. Seconde difficulté. 280
3.2.3. Le conditionnement nomologique de l'objectivité de tout SRM. 280
3.3. La thèse de l'étalon-magnitude. 282
3.3.1. La règle de transformation des SRM. 283
3.3.2. La thèse ontologique de l'étalon-magnitude. 284
3.4. Dingle et le problème de l'étalon. 286
3.4.1. Premier argument : les standards d'un même étalon. 286
3.4.2. Second argument : les déformations de l'étalon. 289
3.5. Conclusion ontologique : la thèse DVQ. 290
4. Le structuralisme empiriste d'Ellis 292
4.1. La théorie des Quantités comme Structures Empiriques (QSE). 292
4.1.1. Les éléments de QSE. 292
4.1.2. La question ontologique à partir de QSE. 293
4.2. Comment la théorie QSE nominaliste d'Ellis-Forge surmonte les difficultés de l'opérationalisme... 295
4.2.1. Première difficulté. 295
4.2.2. Seconde difficulté. 297
4.3. Dérivation ontologique de DVQ à partir de l'ontologie des structures empiriques. 299
4.3.1. Le postulat d'extension des relations. 299
4.3.1.1. Le postulat de Forge. 299
4.3.1.2. Nombres et proportions. 302
4.3.2. Les deux postulats de l'idéalisation métrique. 303
4.3.2.1. Deux présuppositions d'idéalisation : sélection et exclusion. 303
4.3.2.2. Premier postulat de sélection (des aspects relationnels). 304
4.3.2.3. Second postulat d'exclusion des différences concrètes. 305
4.3.3. Conclusion : les présuppositions ontologiques de l'idéalisation. 310

CHAPITRE VI : LA MESURE, APPROCHE REPRESENTATIONNELLE 313

1. L'approche représentationnelle : la mesure comme représentation structurelle. 314
1.1. Le problème de l'objectivité comme problème de représentativité. 314
1.1.1. Problème général de la représentativité. 314
1.1.2. Les choix représentationnels. 316
1.2. La réponse représentationnelle au problème de l'applicabilité. 318
1.2.1. Une approche structuraliste de l'application. 318

1.2.2. Représentation et unicité : la caractérisation mathématique de l'objectivité représentationnelle. 319
1.2.2.1. La définition technique d'une échelle de mesure. 319
1.2.2.2. La caractérisation mathématique de la représentativité d'une échelle de mesure. 320
1.2.2.3. Les réponses représentationnelles. 323
2. Les limites de l'approche représentationnelle et le retour à Norman Campbell. 324
2.1. Le manque d'une solution générale au problème de l'applicabilité objective des mathématiques. 325
2.2. L'approche spécifique de Campbell 328
2.2.1. Les principales conclusions de Campbell. 328
2.2.1.1. Le rôle des différences quantitatives. 329
2.2.1.2. La constructibilité opératoire des échelles de mesure. 331
2.2.2. Le critère de mesurabilité en débat. 334
2.3. Le bilan de l'approche représentationnelle 336
3. La convention de coordination entre les objets représentés et les nombres dans la représentation. 337
3.1. Le problème modal de la constructibilité. 338
3.1.1. Changement d'échelle et changement d'unité. 338
3.1.2. Discussion d'une objection à cette conséquence ontologique. 340
3.1.3. Conclusion : la signification de la modalité de « constructibilité ». 341
3.2. L'interprétation ontologique des axiomes existentiels. 343
3.2.1. Le problème des axiomes existentiels et des sommes non-actuelles. 343
3.2.1.1. Axiomes existentiels et condition de constructibilité de l'échelle. 344
3.2.1.2. La tentative empiriste-nominaliste. 346
3.2.2. La théorie des Structures de Magnitudes-Propriétés (SMP) de Swoyer et Mundy. 348
3.2.2.1. L'argument fondé sur l'intuition métrologique. 348
3.2.2.2. L'argument fondé sur la signification de l'unité. 349
3.2.3. L'argument naturaliste fondé sur le réalisme métrique. 350
3.2.3.1. Le caractère intensionnel de la signification des prédicats. 352
3.2.3.2. L'usage d'une échelle n'est pas celui d'un modèle. 354
3.2.4. La théorie SMP face aux axiomes existentiels de la mesure. 355
4. Critique de la théorie SMP. 358
4.1. Critiques purement ontologiques d'inspiration armstrongienne. 358
4.2. Notre critique de la théorie SMP. 360
4.2.1. Une nouvelle défaite de la particularité. 361
4.2.2. Un SRM construit sur des particuliers concrets n'est pas une portion de S_M. 363
4.2.2.1. Instanciation partielle d'une classe de propriétés, instanciation partielle d'une structure. 363
4.2.2.2. Deux modes distincts de diversité. 364
4.2.2.3. L'ambiguïté de « occuper une place d'une structure ». 365
4.3. Notre interprétation des axiomes existentiels. 367
4.3.1. Rappel de la théorie des Quantités comme Structures de particuliers Empiriques (QSE). 368
4.3.2. Une analyse actualiste des modalités. 369
4.3.3. La thèse de la magnitude-étalon. 371
5. Conclusion : une dérivation de la théorie DVQ pour les quantités continues. 372

5.1. Ce qu'il faut dériver, et à partir de quoi le faire. 372
5.2. Dérivation de DVQ. 373

TROISIEME PARTIE : LA STRUCTURE NOMIQUE DE LA REALITE 375

CHAPITRE VII : LOIS DE LA NATURE ET FONDEMENT DE L'INDUCTION 377

1. La nature des lois de la nature. 377
1.1. Universalisme DTA contre régularisme humien 379
1.1.1. Arguments épistémologiques. 379
1.1.1.1. L'argument tiré de la confirmation des lois. 380
1.1.1.2. L'argument tiré de l'explication nomologique 382
1.1.1.3. L'unité des deux arguments : l'induction. 383
1.1.2. Arguments sémantiques et ontologiques. 385
1.1.2.1. L'argument tiré de l'opacité intensionnelle de l'énoncé nomologique. 385
1.1.2.2. L'argument des généralisations accidentelles 387
1.1.2.3. L'argument tiré de la modalité du « fait nomologique ». 389
1.2. La théorie DTA des lois de la nature et le problème de la nécessitation. 391
1.2.1. La nature de la nécessitation nomique. 391
1.2.2. La tentative d'Armstrong. 393
1.3. Van Fraassen et le problème de l'inférence. 394
1.3.1. Le cas de Tooley. 396
1.3.2. Le cas d'Armstrong. 398
1.3.3. La réponse d'Armstrong. 399
1.3.4. Le problème de la fondation nomique des régularités. 401
1.3.4.1. Position du problème. 401
1.3.4.2. La connexion nomique est-elle interne aux états de choses ? 402
1.3.4.3. Pourquoi la relation N est-elle externe à F et G ? 403
1.3.4.4. La connexion nomique est-elle externe aux états de choses ? 405
1.4. L'analyse des lois équationnelles. 407
1.4.1. Le besoin d'une analyse réaliste 408
1.4.2. La voie universaliste : les lois et l'archi-loi. 410
1.4.3. Les problèmes que pose la théorie de l'archi-loi 412
1.4.3.1. Le problème de l'archi-loi. 412
1.4.3.2. Le problème de la sémantique des cas possibles. 413
1.4.3.3. Le problème de l'archi-loi ne dépend pas de l'ontologie d'Armstrong 413
1.4.3.4. Problèmes épistémologiques. 415
1.4.4. L'approche de Tooley fondée sur la théorie de la mesure. 415
1.4.4.1. La théorie des lois équationnelles de Tooley. 416
1.4.4.2. Les avantages de la théorie de Tooley. 418
1.4.4.3. Le problème de le théorie de Tooley. 419
1.5. Conclusion : les réquisits que doit satisfaire l'ontologie des lois de la nature. 421
2. L'ancien problème de l'induction ou « problème de Hume ». 422
2.1. Le principe de l'induction, de la causalité à l'uniformité des lois 423

2.1.1. Hume et la critique de la causalité. 424
2.1.2. Mill et la connexion entre causalité et loi de la nature. 425
2.1.2.1. La « Loi de causalité ». 425
2.1.2.2. Causalité et nomicité. 427
2.1.3. Russell et le spectre de la causalité. 428
2.2. Les lois de la nature peuvent-elles changer ? 430
2.2.1. Le principe de temporalité nomique. 430
2.2.2. Qu'est-ce, pour une loi de la nature, que d'avoir cours ? 431
2.2.3. La temporalité nomique contredit l'analyse conceptuelle du cours de la loi. 433
2.2.4. La temporalité nomique présuppose un principe d'induction. 435
2.2.5. Temporalité nomique et causalité : les bénéfices de leur disqualification. 438
2.3. La vérité nomologique comme fondement de l'induction. 439
3. La conception DVQ des lois de la nature : un régularisme quantitatif. 440
3.1. Ontologie des lois équationnelles comme structures de variations concomitantes 440
3.1.1. Rappel sur les quantités physiques. 441
3.1.2. La nature du rapport nomique entre propriétés quantitatives. 442
3.1.3. La loi comme régularité mathématique. 443
3.1.4. Une analyse satisfaisante des lois équationnelles. 446
3.1.5. Une solution au problème de l'inférence. 448
3.2. Le cours nomique de la loi. 449
3.2.1. La loi comme contrainte globale. 449
3.2.2. Être une instance nomique : un régularisme non-humien. 451
3.2.2.1. Le régularisme humien et la thèse de la survenance humienne. 452
3.2.2.2. La thèse de l'indifférence humienne. 453
3.2.2.3. Contre la thèse de l'indifférence humienne. 456
3.2.3. Le problème des régularités accidentelles dissout. 458
3.3. Les modalités physiques. 459
3.3.1. L'actuel physique. 460
3.3.1.1. Être physiquement réel. 460
3.3.1.2. Être concrètement réel. 462
3.3.2. Les possibilités physiques. 462
3.3.2.1. La possibilité physique comme compatibilité avec les lois de phénoménalisation. 463
3.3.2.2. Les possibilités physiques non-réalisées et les contrefactuels nomologiques. 464
3.3.3. La nécessité physique et la nécessitation nomique. 465
4. Le fondement ontologique de la possibilité de l'induction. 467
4.1. Les enjeux ontologiques du fondement de l'induction. 467
4.1.1. L'enjeu principal de fondation. 468
4.1.2. L'enjeu disputatif : renverser le dernier présupposé humien, encore présent 468
4.1.2.1. Le piège humien. 468
4.1.2.2. Dans lequel tombe Armstrong. 469
4.1.3. L'enjeu interne : l'abandon de la répétition à l'identique dans l'expérience. 472
4.2. Une solution régulariste non-humienne au problème de l'induction. 473
4.2.1. Exemple d'une variété spatio-temporelle. 473

4.2.2. Les variétés non-humiennes en général. 476
4.2.3. Les relations entre la loi et ses instances : fondation et implication d'existence. 477
4.2.3.1. La relation de fondation nomologique. 477
4.2.3.2. La relation inverse d'implication du fondement. 479

CHAPITRE VIII : LA PREDICTION MATHEMATIQUE 483

1. Prédiction et application nomologique des mathématiques. 484
1.1. Le problème général de la prédiction nomologique. 485
1.1.1. L'expérience de pensée de l'oracle. 486
1.1.2. Le modèle DN de la prédiction. 488
1.2. Les « prédictions existentielles non-standards ». 489
1.2.1. La vision reçue du rôle des mathématiques dans les prédictions standards. 490
1.2.2. Les prédictions existentielles non-standards. 491
2. Steiner, Bangu et Ginammi. 493
2.1. Steiner et les « analogies pythagoriciennes ». 494
2.1.1. Le sens de l'« analogie » pythagoricienne. 494
2.1.2. La prédiction du positron par Dirac. 496
2.1.3. Le but de Steiner : sa thèse anthropocentriste sur la découverte. 499
2.2. Bangu et le « principe de réificiation » 500
2.2.1. Les prédictions existentielles standards et le modèle DN. 501
2.2.1.1. Le traitement par Bangu de la prédiction de l'existence de Neptune. 501
2.2.1.2. Les conditions d'une prédiction existentielle. 504
2.2.2. La prédiction de l'existence d'Ω^-. 505
2.2.2.1. L'application de la théorie mathématique des représentations (irréductibles) de groupes. ..505
2.2.2.2. La prédiction d'Ω^-. 507
2.2.3. Le principe de réification dans les prédictions existentielles non-standards. 510
2.3. Ginammi et la représentativité des structures mathématiques. 512
2.3.1. Les problèmes liés à l'utilisation du principe analogique. 512
2.3.2. La représentativité des structures mathématiques comme outil scientifique. 515
2.3.2.1. L'efficacité représentative : structures excédentaires et structure parfaitement adéquates. 515
2.3.2.2. Les quatre problèmes de l'analyse de Ginammi. 517
3. Le fondement des prédictions existentielles non-standards. 519
3.1. Le Principe d'Extension des Relations (PER). 520
3.1.1. La nécessité d'un détour structuraliste. 520
3.1.2. Représentations redondantes et représentations adéquates. 522
3.1.3. Le Principe d'Extension des Relations (PER). 525
3.2. L'application nomologique de (PER). 527
3.2.1. La prédiction du positron. 527
3.2.2. La prédiction d'Ω^-. 532
4. Les conditions ontologiques de l'application objective des mathématiques pour les prédictions…… 538
4.1. Pourquoi ces prédictions sont-elles « mathématiques » et « existentielles » ? 539
4.1.1. A quoi servent les mathématiques appliquées dans ces prédictions ? 539

4.1.2. Une simplification du modèle DN. 541
4.2. Les conséquences ontologiques dérivées de (PER)....544
4.2.1. Le régularisme mathématique des lois. 544
4.2.2. La loi comme contrainte globale et l'ontologie non-humienne de ses instances. 546
4.2.3. Actualisme et élimination des modalités physiques....549
4.3. Conclusion. 550

CHAPITRE IX : LA CONFIRMABILITE MATHEMATIQUE. 553

1. La confirmation des hypothèses nomologiques et les mathématiques. 554
1.1. Le critère de Nicod et les mathématiques....554
1.1.1. Le critère de Nicod et la forme conditionnelle des hypothèses....554
1.1.2. L'approche reçue du rôle des mathématiques dans la confirmation. L'induction énumérative et l'induction variationnelle. 557
1.1.3. Problématisation de la confirmabilité mathématique (I). 559
1.1.3.1. La force de l'induction variationnelle....559
1.1.3.2. Le problème de la confirmabilité mathématique. 560
1.2. Le problème de Goodman et l'interpolation....563
1.2.1. La « nouvelle énigme de l'induction » de Goodman. 563
1.2.2. Le problème de Goodman étendu à l'interpolation. 566
1.2.3. Un problème se pose au problème de Goodman. 569
1.2.4. Problématisation de la confirmabilité mathématique (II). 572
2. Les conditions du problème de Goodman. 574
2.1. Discussions récentes concernant le problème lui-même. 574
2.1.1. Hacking : « l'énigme de Goodman est pré-humienne ». 575
2.1.2. Israël et Kowalenko : quelle est la signification de « vleu » ? 576
2.2. Un cadre commun pour penser l'induction et la vleuïfication. 580
2.2.1. L'induction comme projection d'une caractéristique à travers des différences. 580
2.2.2. Le coût de la pluralité des instances inductives. 582
2.2.3. La nature de la vleuïfication. 586
2.3. Premier principe d'applicabilité du critère de Nicod : la vleuïfication intégrale. 589
2.3.1. La constitution d'un espace clos d'hypothèses inductives. 589
2.3.1.1. La vleuïfication proprement dite ou internalisation des variations....590
2.3.1.2. L'opération de réduction empirique. 592
2.3.2. Le principe de vleuïfication intégrale....594
2.4. Second principe : la symétrie nomologique au sein d'un espace clos. 596
2.4.1. L'induction énumérative et ses présuppositions nominalistes. 596
2.4.2. L'interpolation et l'induction variationnelle. 599
2.4.3. Interpolation et induction variationnelle. 602
3. La déduction de l'ontologie des lois. 604
3.1. Être une instance nomologique....604
3.1.1. Goodman contre Hume. 604
3.1.2. Instances nomologiques non-humiennes. 605
3.1.3. Un exemple physique. 606

3.2. Le régularisme mathématique des lois de la nature. 608
3.2.1. Internalisation de la différence inductive. 608
3.2.2. La distinction entre non-variation et variation nulle. 609
3.2.3. La nature variationnelle des lois de la nature. 612
3.2.4. Réponse à Dretske. 613

CONCLUSION 615

GLOSSAIRE 617

BIBLIOGRAPHIE 627

Introduction

Si nos meilleures théories physiques parviennent peut-être à décrire les traits les plus généraux de la réalité, on sait que pour le faire, elles utilisent le langage des mathématiques. La question se pose dès lors de savoir si ce n'est pas de l'utilisation des concepts et du formalisme mathématiques que vient cette capacité à formuler des théories physiques adéquates. Dans cette thèse, nous allons interroger le lien entre le réalisme scientifique d'une part, et d'autre part, cette « déraisonnable efficacité des mathématiques » en physique, selon l'expression du physicien Eugene Wigner (Wigner, 1960). Ce travail se situe donc au carrefour de deux angles de la recherche contemporaine en philosophie des sciences et de la physique : le débat sur le réalisme scientifique et la question de ce que nos théories nous permettent, dans l'idéal, de connaître de la réalité physique, et le problème des raisons et des conditions de l'applicabilité des mathématiques aux phénomènes et objets physiques. Notre but est de soutenir que les mathématiques sont si efficacement applicables en physique tout simplement parce que la réalité que les physiciens parviennent à décrire est de nature quantitative.

1. Réalisme scientifique et applicabilité des mathématiques.

Nous devons d'abord expliquer comment cette inscription dans le cadre du réalisme scientifique nous conduit à l'étude ontologique des propriétés et des lois de la nature que nous mènerons. Ensuite, nous donnerons un aperçu des questions posées par l'applicabilité des mathématiques en physique, pour comprendre comment nous en articulerons certaines à l'axe ontologique principal de ce travail. Ce parcours nous permettra en même temps d'expliciter les postulats ou présupposés de cette thèse.

1.1.Du réalisme scientifique à l'ontologie des propriétés et des lois de la nature.

D'après le réalisme scientifique, nos meilleures théories physiques peuvent être vraies de la réalité physique, ou plus précisément, des parties de la réalité physique sur lesquelles elles portent (Psillos, 2009). Il n'affirme cependant pas que nos théories actuelles sont vraies, mais qu'il est épistémologiquement possible que nous parvenions un jour à des théories vraies – bien qu'un réaliste avouera certainement penser que les théories actuelles sont partiellement ou approximativement vraies, au sens où les théories vraies futures reprendront certaines parties des théories actuelles, ou bien nous permettront de comprendre en quoi elles auront approché de la vérité. Cette thèse réaliste sémantique : nos théories peuvent être vraies (ou fausses) de la réalité physique, est un présupposé de ce travail. Notre but est alors d'articuler deux problèmes distincts : un ensemble de questions ontologiques posées par ce

réalisme scientifique d'une part, et d'autre part, le problème de comprendre comment les mathématiques contribuent à notre capacité à formuler, un jour, une théorie vraie du monde. Posons, examinons et délimitons ces deux problèmes, avant d'expliquer comment nous allons précisément les articuler.

Pour introduire aux questions ontologiques que nous soulevons, nous devons signaler un deuxième présupposé de ce travail. Nous présupposons que si un énoncé peut être vrai (ou faux) d'une portion de la réalité, c'est qu'il existe, dans la réalité quelque chose qui le rend vrai. Cette entité est appelée le vérifacteur de l'énoncé (Mulligan, et al., 1984). Elle n'est pas forcément une entité unique, car un énoncé peut être rendu vrai par plusieurs entités, comme une classe de particuliers. C'est par exemple le cas des énoncés généraux, quantifiés universellement, qui sont rendus vrais par l'existence et la nature de tous les particuliers dont ils parlent. En présupposant cette thèse des vérifacteurs, nous partons donc de l'idée qu'un énoncé physique, par exemple la description des caractéristiques d'un type d'objets comme les trous noirs, ou encore l'énoncé d'une loi sous forme d'équation, peut être vrai (ou faux) parce qu'il existe dans la réalité physique une ou des entités qui *le rendent* vrai (ou faux).

Or, d'après le réalisme scientifique dont nous partons, nos théories physiques peuvent non seulement décrire la réalité, mais surtout en décrire les aspects *généraux*. Une théorie physique n'est tout simplement pas une somme de descriptions des états et caractéristiques de tous les objets ou événements particuliers. Nous partons donc du principe qu'il y a des énoncés physiques dont le but est de porter des vérités non-particulières sur la réalité. Par exemple, certains énoncés portent non pas sur des objets particuliers, mais sur des types ou sortes naturelles d'objets (l'électron, le trou noir, etc.) pour leur attribuer des propriétés (masse, énergie, etc.) ; aussi, il y a des énoncés nomologiques qui décrivent, le plus souvent mathématiquement, ce que nous pensons être des lois de la nature. La question ontologique générale qui se pose est de savoir *quelle est la nature* de ces aspects généraux de la réalité, et si de telles entités non-particulières existent effectivement.

Notre travail d'ontologie consistera donc à se demander quelle est la nature des vérifacteurs des énoncés portant des vérités non-particulières en physique, c'est-à-dire quelle est la nature des propriétés physiques, des sortes ou types naturels, et des lois de la nature. En tant que tel, il n'est donc pas une discussion ni une défense du réalisme scientifique, dont il faudrait distinguer différentes variantes et nuances. Mais, en supposant que nos théories physiques ont la capacité de conceptualiser les propriétés physiques et de décrire leurs relations nomiques, nous faisons l'ontologie implicite de ce réalisme : comment faut-il concevoir l'être des propriétés et des lois, pour que nous puissions ainsi les connaître ? En ce sens, nous nous situons dans la voie ouverte par David Armstrong, qui professe un réalisme *a posteriori* tout en faisant de l'ontologie *a priori* (Armstrong, 1978a) : il s'agit de faire de l'ontologie pour tenter de cerner la nature générale de certaines entités physiques comme les propriétés ou les lois, mais de laisser à la physique expérimentale le soin de dire quelles propriétés et quelles lois existent effectivement.

1.2.Les questions posées par l'applicabilité des mathématiques en physique.

Cet angle ontologique de recherche sera articulé aux questions épistémologiques posées par l'applicabilité des mathématiques en physique. Dans *The Applicability of Mathematics as a Philosophical Problem* (1998), Mark Steiner propose une typologie devenue classique de ces questions, en distinguant trois classes de problèmes : sémantiques, métaphysiques et épistémologiques.

La première classe de problèmes est principalement héritée de Frege (Imocrante, 2017). Il s'agit d'abord de donner une interprétation sémantique des énoncés qui impliquent des termes mathématiques, à la fois des énoncés mathématiques « purs » comme « 7 + 5 = 12 » et des énoncés comprenant des termes non-mathématiques, comme « le nombre de planètes du système solaire est 8 ». Il s'agit ensuite d'expliquer comment des énoncés mathématiques purs peuvent jouer un rôle de prémisses dans des raisonnements scientifiques, dont les conclusions sont des énoncés mixtes (souvent des énoncés empiriques incluant des termes mathématiques).

Le problème métaphysique de l'applicabilité renvoie d'une part à la question de l'existence et de la nature des « objets mathématiques », sur lesquels porteraient les théories de mathématiques pures, et d'autre part à la façon dont on franchit le « fossé » (« gap ») entre les objets mathématiques et les objets ou phénomènes physiques, pour que ces théories mathématiques puissent être (si efficacement) appliquées. Nous allons voir comment ce dernier problème nous occupera en partie, quand il s'agira de comprendre quelle relation voir entre les structures mathématiques et les structures d'objets physiques.

Enfin et troisièmement, se pose la question épistémologique de savoir quels sont les usages des mathématiques quand elles sont utilisées en physique, et en particulier quelle est la contribution des mathématiques dans les représentations scientifiques des phénomènes physiques (Pincock, 2012). Le terme « représentation » renvoie généralement à la façon dont les scientifiques produisent une description simplifiée du monde, où des caractéristiques pertinentes du domaine d'objets étudiés sont sélectionnées, où des idéalisations sont faites, pour dessiner ce qu'on appelle une « image scientifique » de la réalité. Mais plus spécifiquement, le terme désigne l'activité de modélisation scientifique, c'est-à-dire la constitution d'un domaine d'objets dont les propriétés et relations sont mathématiquement décrites, et dans lequel une théorie physique est vraie (au sens tarskien de satisfaction des axiomes d'une théorie – (Tarski, 1943)).

Dans ce très vaste champ d'étude des modèles mathématiques, nous nous intéresserons moins aux questions portant sur le rôle inférentiel joué par les structures mathématiques (Bueno & Colyvan, 2011), ou les ressorts computationnels trouvés dans les différents formalismes (Ardourel, et al., 2018) qu'à celle de savoir comment ces représentations mathématiques sont mises en correspondance avec les objets physiques représentés. Nous étudierons dans cette veine le cas de la mesure (chapitre VI), où des structures mathématiques sont appliquées pour représenter les objets mesurés, et le cas plus particulier

de la représentation de la classe des baryons de spin 3/2, qui utilise la théorie mathématique des groupes (chapitre VIII).

Nous pouvons alors aborder le troisième présupposé majeur de cette thèse, qui est l'influence de l'approche structuraliste contemporaine dans les questions d'applicabilité des mathématiques. Cette approche vaut tant pour le problème métaphysique de l'applicabilité (le rapport entre les « objets mathématiques » et les objets physiques concrets) que le problème épistémologique de la contribution des mathématiques. D'un point de vue métaphysique, l'approche structuraliste défend la thèse selon laquelle les objets mathématiques et les domaines d'objets physiques ont en commun d'instancier les structures abstraites décrites par certaines théories mathématiques (par exemple, les structures de nombres de l'arithmétique, ou les structures décrites par la théorie des groupes). Cette communauté de structure serait alors l'explication de l'applicabilité de ces théories mathématiques aux objets physiques (Shapiro, 1983). D'un point de vue cette fois épistémologique, les tenants de l'approche structuraliste étudient la façon dont les objets mathématiques sont appliqués à la représentation des objets physiques pour tirer bénéfice de leurs propriétés structurales (Bueno, et al., 2002). Ces différents auteurs ont en commun de supposer que l'efficacité des mathématiques dans les représentations scientifiques vient de leur capacité à décrire adéquatement les aspects structuraux de la réalité. C'est ce pouvoir descriptif des mathématiques que nous allons étudier, en lien avec les questions ontologiques explicitées au-dessus.

En effet, nous soutiendrons la thèse selon laquelle les mathématiques ont ce pouvoir descriptif en raison de la nature quantitative de la réalité physique. Plus précisément, nous défendrons donc à la fois une conception ontologique structurale de ce qu'il y a de « quantitatif » dans la nature – à savoir d'une part les propriétés quantitatives ou grandeurs physiques, et d'autre part les lois quantitatives de la nature, qui relient ces grandeurs – et une position épistémologique selon laquelle le pouvoir descriptif des mathématiques a des conditions ontologiques de possibilité, que nous devons supposer remplies pour appliquer légitimement ces mathématiques. Notre travail sera donc mené sur deux fronts, ontologiques (la nature des quantités) et épistémologique (les conditions de l'application descriptive des mathématiques), et fondé sur deux types d'argumentations, dont il sera utile de présenter maintenant la méthode et le déroulé.

2. ***Déroulé et méthode de l'argumentation.***

A la lecture de cette thèse, on rencontrera deux types de chapitres, qui jouent des rôles distincts et complémentaires dans le raisonnement d'ensemble. Il y aura d'abord des chapitres d'ontologie pure, dont les conclusions sont hypothétiques, et défendues à partir d'arguments a priori. Mais ces conclusions ontologiques seront toujours ensuite reprises dans des chapitres où seront étudiés des cas d'application des mathématiques, et dont le but est de montrer, à partir d'arguments de nature transcendantale, que nous devons les accepter comme des conditions ontologiques de l'applicabilité des mathématiques.

Dessinons alors le plan général de ce travail, pour apercevoir comment se déroulent le raisonnement d'ensemble et comment se mêlent ces deux types d'argumentations.

2.1.Première partie : une ontologie générale des propriétés.

Dans le but d'aboutir à une conception ontologique des propriétés quantitatives, nous avons besoin d'entrer dans les débats liées à l'existence et la nature des propriétés en général. C'est pourquoi la première partie est consacrée à une ontologie générale des propriétés, où nous abordons le « problème des universaux » tel qu'il a été revivifié au siècle dernier. Ce problème est constitué par l'opposition entre d'une part le nominalisme, pour lequel il n'existe dans la réalité que des particuliers concrets ou individus, et d'autre part le réalisme des propriétés, qui défend l'existence au-dessus des particuliers d'entités générales, qui rassemblent les particuliers en classes naturelles et sont désignées par les prédicats fondamentaux de la physique (les grandeurs comme « Masse », « Charge », « Vitesse instantanée », etc.).

Dans le chapitre I, nous proposons et construisons un problème général pour l'ontologie des propriétés, formulé en termes de vérifacteurs. On constate, dans la vie courante mais surtout dans l'activité scientifique, que l'on peut attribuer véridiquement le même prédicat à des particuliers pourtant divers et différents numériquement, par exemple, « être massif » ou « être un électron ». Le problème des propriétés sera pour nous de réussir à concevoir ce qu'est une « propriété » pour rendre cela possible : nous nous demanderons comment concevoir un vérifacteur commun à des énoncés qui attribuent un même prédicat à des particuliers distincts. Dans ce premier chapitre, nous examinons ensuite les deux positions qui sont des réponses réalistes à ce problème. Selon la théorie des tropes, les propriétés sont des classes de particuliers abstraits exactement ressemblants. Un particulier « abstrait » est un aspect d'un individu (ou comme on le dit aussi parfois, une « propriété instanciée ») comme sa « massivité » ou le « fait qu'il soit » un électron. Puis nous passerons à la théorie des universaux (en particulier celle d'Armstrong), qui conçoit les particuliers concrets comme des états de choses, c'est-à-dire comme des individu instanciant un universel. Nous montrerons qu'aucune de ces deux théories, en l'état, ne permet de résoudre notre problème des propriétés, parce qu'elle bute sur la même impossibilité de concevoir une diversité seulement numérique de particuliers qualitativement identiques.

Dans le chapitre II, nous examinons la position nominaliste adverse, ou plutôt les nominalismes. Nous distinguerons en effet une première forme de nominalisme, qui tente d'apporter sa propre solution au problème des propriétés, d'une seconde forme, qui le rejette. Selon la première, bien qu'il n'existe dans le monde que des individus, il est possible de résoudre le problème posé grâce à la notion de ressemblance objective ou similarité : divers particuliers composent une classe naturelle, qui correspond à une « propriété », parce qu'ils se ressemblent. Nous critiquerons alors cette réponse, en montrant qu'elle ne peut pas résoudre le problème sans faire appel à une forme de « particuliers abstraits », c'est-

à-dire sans admettre des tropes. D'après la seconde forme de nominalisme, le problème des propriétés doit être repoussé pour n'admettre dans le monde que des individus. Nous n'argumenterons pas contre cette position nominaliste radicale, mais montrerons simplement qu'elle ne peut se prévaloir d'aucun appui empirique : au contraire, elle ne peut être défendue qu'en présupposant une conception a priori de la particularité et de la distinction numérique des particuliers, conçus comme « individuellement distincts ». De ce chapitre II, il ressortira que pour résoudre le problème des propriétés, la catégorie de « particulier abstrait » (et donc des tropes) est inévitable, mais ne peut être efficacement employée qu'en en tirant une conception non-nominaliste de la particularité (des tropes).

C'est pourquoi, dans le chapitre III, nous présentons notre solution au problème général des propriétés. Elle s'inscrit dans le cadre de la théorie des tropes et non des universaux, et propose une conceptualisation originale de leur particularité et de leur distinction numérique. Comme notre but est de comprendre comment divers particuliers peuvent être distincts tout en étant instances d'une même « propriété », nous proposons de penser que chaque particulier (abstrait) est une instance distincte des autres parce qu'il est une détermination différente de la même propriété. Le chapitre III est d'abord consacré à l'explication de cette thèse, qui conçoit l'instanciation d'une propriété comme sa détermination particulière. Il en découle une définition de la propriété comme une classe de tropes qui sont des déterminations différentes d'une même propriété. Le reste du chapitre III consiste à répondre à la principale objection qu'elle soulève à nos yeux. Cette ontologie implique en effet de refuser, comme métaphysiquement impossible, une diversité de particuliers qualitativement identiques, distincts solo numero, et nous devrons expliquer comment on peut accepter cette conséquence intuitivement dérangeante.

Dans ce premier ensemble de trois chapitres, nous suivrons une méthode d'argumentation « problématologique ». Il s'agira en effet de défendre une théorie des propriétés et de leurs instances en tant qu'elle est la seule solution à un problème (ontologique) qui doit être résolu. C'est d'abord comme tentatives de résoudre ce problème que les théories concurrentes (théorie classique des tropes, théorie des universaux) sont rejetées. Mais nous nous attacherons surtout à comprendre précisément les raisons de leurs échecs, car c'est à partir d'elles que nous pourrons faire apparaître notre propre proposition comme la seule solution possible au problème des propriétés. Mais une telle méthode problématologique n'est peut-être pas suffisante pour convaincre de la validité d'une ontologie, c'est pourquoi nous changerons d'approche en passant à la deuxième partie.

2.2.Deuxième partie : ontologie des quantités et application des mathématiques à la mesure.

Dans une deuxième partie, nous défendrons en effet notre ontologie des propriétés comme conception adéquate de la nature des propriétés quantitatives. Le problème général de l'ontologie des quantités est de comprendre le rapport entre une propriété quantitative déterminable comme une

grandeur physique (la Masse, etc.), qu'ont en commun tous les particuliers qui sont massifs, et ses magnitudes déterminées (une masse de 3 kg, une masse de 50 kg, de π kg, etc.), par lesquelles les corps particuliers diffèrent (plus ou moins massifs les uns par rapport aux autres).

Dans le chapitre IV, nous commençons par expliquer comment l'ontologie de la première partie se traduit comme ontologie des quantités, puis nous la défendons par rapport aux propositions concurrentes dans ce domaine : la théorie substantialiste des quantités (Armstrong, 1988), et la théorie relationnelle (Bigelow & Pargetter, 1988). Nous suivrons dans ce chapitre une méthode comparative d'argumentation, en montrant que notre théorie a l'avantage de rendre compte des quantités dans la nature d'une manière bien plus économique d'abord, et plus satisfaisante vis-à-vis de nos intuitions ensuite. Mais pour cela, nous devrons en même temps préciser considérablement l'ontologie héritée de la première partie, et en donner une interprétation structuraliste : nous identifierons alors une propriété à une classe structurée de tropes, où ces tropes sont déterminés relationnellement les uns par rapport aux autres, comme les différences places d'une même structure.

Dans les chapitres V et VI, nous tenterons d'argumenter d'une nouvelle manière en faveur de cette théorie des quantités, en montrant en quoi elle est exigée par nos pratiques de mesure. Nous basculerons alors dans le problème de l'applicabilité des nombres (plus exactement, des structures numériques) aux objets et aux grandeurs physiques qu'ils sont censés mesurer. Notre démarche aura alors une allure transcendantale. Nous verrons en effet que pour que nos mesures, qui sont des attributions de nombres à des objets mesurés, puissent être dotées d'une signification objective, alors il faut adopter l'ontologie des quantités que nous proposons. Autrement dit, cette ontologie sera défendue comme la condition de possibilité d'une application objective des nombres aux objets physiques dans la mesure. Mais que signifie « l'objectivité » de nos mesures ?

Nous dirons qu'un résultat de mesure possède une signification objective lorsqu'il dénote un trait objectif de l'objet mesuré, et n'est pas seulement l'effet ou le produit des choix conventionnels qu'il faut faire pour établir la mesure. Notre démarche consistera alors à examiner successivement ces différentes conventions. Deux premières conventions, la définition d'une opération de mesure, choix d'un objet comme étalon, c'est-à-dire point de référence de nos mesures, seront étudiées dans le chapitre V, à l'aune de l'approche dite « opérationnelle » de la mesure. Nous y discuterons en particulier la position opérationaliste, selon laquelle la signification des concepts quantitatifs est fixée par les opérations de mesure définies (Bridgman, 1927), et la signification des résultats de mesure, relative à l'étalon choisi (Dingle, 1950). Nous y étudierons ensuite la position empiriste d'Ellis et Forge, qui surmonte les difficultés rencontrées par l'opérationalisme. Ils aboutissent à une définition d'une propriété mesurable comme structure empirique d'objets mesurés. Ils identifient ces objets aux particuliers concrets manipulés dans les opérations de mesure. Ces opérations établissent entre eux des relations (comme « deux fois plus massif que », etc.) qui forment une structure. Notre but sera alors de montrer que pour garantir entièrement l'objectivité de nos mesures, on peut accepter leur théorie en

modifiant son ontologie, et identifier une propriété mesurable à une structure composée de particuliers abstraits. Nous aboutirons alors une première fois à notre conception des quantités.

Ensuite, deux autres conventions de mesure devront être étudiées : le choix d'une structure numérique pour représenter mathématiquement les objets mesurés, et enfin choix de l'unité (pour associer d'une manière déterminée ces nombres aux objets). Ces deux dernières conventions seront examinées à l'aune de l'approche représentationnelle de la mesure, pour laquelle mesurer un domaine d'objets, c'est le représenter par une structure numérique appelée « échelle de mesure ». Nous entrerons alors dans le vif du problème de l'applicabilité des mathématiques (ici des nombres) et de sa solution structuraliste. Nous examinerons de près la position, aujourd'hui défendue par Swoyer et Mundy (référence), qui identifie une propriété mesurable (une grandeur physique) à une structure de propriétés déterminées (qui sont les magnitudes de cette grandeur). Contre cette positon, nous argumenterons alors en faveur d'une ontologie plus proche de celle d'Ellis et Forge, en montrant qu'il ne faut pas identifier les magnitudes de grandeur à des propriétés mais à des particuliers (abstraits). Le nerf de cet argument sera à nouveau transcendantal : il s'agira de montrer que c'est pour garantir l'objectivité de nos mesures, en en particulier, pour résoudre les problèmes modaux associés à la mesurabilité d'une propriété, qu'il faut adopter cette position.

Nous aurons ainsi pleinement défendu, sur la base d'arguments a priori, mais aussi par des arguments transcendantaux, notre ontologie des propriétés quantitatives. Or, les quantités sont reliées dans la nature, au sens où il arrive que l'une entraine l'autre ou n'arrive pas sans l'autre. On dit alors qu'il existe une loi de la nature qui les relie. C'est pourquoi dans la troisième et dernière partie, nous proposons une conception de la nature des lois quantitatives de la nature, qui relient des propriétés quantitatives.

2.3. Troisième partie : ontologie des lois de la nature et application des mathématiques aux énoncés nomologiques.

Les lois de la nature sont désignées par les équations vraies (s'il y en a) dans nos meilleures théories physiques, et il s'agit de concevoir leur nature comme vérifacteurs de ces équations. Mais cette ontologie des lois doit aussi être articulée aux rôles épistémologiques joués par les énoncés de ces lois, les énoncés nomologiques. Nous évoquerons deux rôles joués par ces énoncés : dans la prédiction d'une part, et dans la confirmation et l'induction de l'autre. Dans ces deux cas, l'articulation à l'ontologie est de nature transcendantale : il faut que l'ontologie des lois de la nature soit telle qu'elle rende possible le fait que les énoncés nomologiques, qui désignent ces lois, remplissent bien ces rôles.

Le chapitre VII est un chapitre de pure ontologie des lois. Il commence par présenter l'opposition entre deux conceptions de la nature des lois, le régularisme et l'universalisme. Selon les régularistes (parfois appelés simplement « empiristes » ou « humiens »), une loi de la nature ne consiste

qu'en une classe de faits particuliers présentant une régularité ou, comme on dit parfois, une uniformité phénoménale. Si, par exemple, c'est un fait que tous les corbeaux sont noirs, la loi ne consiste en rien de plus que cette inclusion extensionnelle des instances particulières de « être un corbeau » dans la classe des instances de « être noir ». Cette position soutient la thèse de la « survenance humienne », qui affirme que des faits généraux comme des lois surviennent sur les états de fait particuliers.

Selon la position universaliste soutenue par Dretske, Tooley et Armstrong (DTA), une loi consiste plutôt en une relation nomique entre deux propriétés, conçues comme universaux. Elle est donc distincte du rapport d'inclusion extensionnelle entre les instances de ces propriétés. La théorie universaliste des lois tente en quelque sorte s'analyser ontologiquement l'idée intuitive qu'une loi n'est pas qu'un ensemble de faits particuliers, mais quelque chose qui « gouverne » ces faits, et les contraint à être comme ils sont. Cette idée intuitive se dit, dans le vocabulaire ontologique : pour un fait particulier, s'il est F, alors il est G, selon une nécessité qui vient de la loi, en vertu du fait que la propriété F entraîne la propriété G. L'intérêt majeur de cette théorie, qui devrait permettre de la défendre contre le régularisme, est donc la relation de fondation entre la loi et la régularité correspondante. La régularité est le cas *en vertu de* la loi, ce qui contredit la thèse de la survenance humienne. Pour les universalistes, cela permet de répondre à tout un tas de problèmes posés par le régularisme, principalement épistémologique (comment comprendre qu'un énoncé de loi explique une régularité de faits particuliers, si elle s'y réduit ?) et sémantique (quelle distinction faire entre régularité qui correspond à une loi et une régularité accidentelle ?).

Mais nous allons montrer que la position universaliste pose à son tour deux problèmes principaux : premièrement, le problème dit « de l'inférence » soulevé par van Fraassen (van Fraassen, 1989), qui montre que la relation par laquelle un particulier a qui est F « doit » être G en vertu de la loi n'est pas du tout garantie, car il n'y a pas de rapport logique (ni magique) entre un fait concernant les universaux et un fait concernant leurs instances. Pour que la loi s'applique bien, il faut alors présupposer qu'une nouvelle loi l'applique, c'est la « régression du législateur ». Deuxièmement, et c'est un problème que nous ajouterons : la conception universaliste ne permet pas de rendre compte de manière satisfaisante des lois désignées par les équations de la physique.

C'est en réponse à ces deux problèmes, et en reprenant notre conception des propriétés quantitatives issue du chapitre IV, que nous proposons de reprendre, en la modifiant substantiellement, la théorie régulariste des lois, mais en changeant considérablement la manière de concevoir les cas particuliers de la loi. La position régulariste classique, concernant la nature des lois et de leurs cas particuliers, a une affinité naturelle avec la position nominaliste, concernant les propriétés : dans les deux cas, il s'agit de refuser qu'il existe quelque chose « en plus et au-dessus » (*over and above*) des particuliers ou faits particuliers que l'on peut rencontrer dans l'expérience. Mais il est tout à fait possible de défendre un régularisme non-nominaliste et non-humien, ce sera notre position. Nous défendrons la thèse qu'une loi est un rapport de variation concomitante entre deux propriétés. Comme ces propriétés

sont, d'après le chapitre IV, des classes structurées de tropes, alors une loi est un rapport entre ces classes. Nous proposons une façon de concevoir ce rapport comme consistant en une classe de faits relationnels d'appariement entre les tropes des deux classes.

L'enjeu d'une ontologie des lois de la nature est également de fournir un fondement ontologique à l'induction. L'induction est la démarche de confirmation d'un énoncé nomologique par l'observation d'une partie finie de ses instances empiriques, dont certaines étaient d'abord des prédictions. Dans ce même chapitre VII, nous allons montrer d'une part que le problème de l'induction n'est pas celui de montrer que les mêmes causes entrainent toujours les mêmes effets, ni que les lois de la nature sont « stables » dans le temps. Nous argumenterons pour la disqualification de cette formulation classique du problème, en montrant d'abord qu'elle vient seulement de son origine historique : la critique humienne de la catégorie de causalité, catégorie qui est tout à fait dispensable pour poser le problème de l'induction. Ensuite, le formulation classique contient l'idée qu'une loi de la nature pourrait gouverner un domaine de phénomènes, puis cesser de valoir comme loi et peut-être être remplacée par une autre ; idée dont nous montrerons, par une analyse du concept de loi, qu'elle n'a aucun sens. Positivement, il est simplement nécessaire pour fonder l'induction qu'il existe des lois, et qu'en existant, elles fondent des classes de régularité formées par leurs instances. Il faut que toutes leurs instances soient ce qu'elles sont, instances de la même loi, en vertu de la loi. Nous montrons alors comment notre conception régulariste des lois, en évitant la thèse de la survenance humienne, permet de le penser.

D'abord défendue par des arguments *a priori*, nous voulons ensuite soutenir cette thèse ontologique sur les lois de la nature au moyen de raisonnements transcendantaux. Il s'agira, dans les chapitres VIII et IX, de montrer que cette ontologie des lois est la condition de possibilité de certains usages que font les scientifiques des énoncés nomologiques. Nous partirons à chaque fois d'un fait épistémologique, ou d'une pratique effective d'inférence scientifique, pour interroger ses conditions de légitimité ou de possibilité.

Dans le chapitre VIII, nous partirons du fait que les énoncés nomologiques sont censés fonder les prédictions qu'on en déduit, au sens où ils justifient ces prédictions, mais en même temps nous donnent les raisons objectives pour lesquelles les faits prédits arrivent. Or il existe des cas de prédictions qui ne sont apparemment fondées que sur les *propriétés mathématiques* des représentations ou formalismes utilisés par les scientifiques pour mettre en place leurs modèles ou formuler leurs énoncés. A partir de ce que Steiner appelait des « analogies pythagoriciennes » (Steiner, 1998), se développe actuellement une littérature qui étudie ces cas étranges où l'existence d'une entité physique inconnue est prédite pour des raisons de symétrie, de beauté ou de complétude interne de nos représentations mathématiques (Bangu, 2012), (Ginammi, 2016). Ces auteurs soutiennent globalement la thèse que ces prédictions ne sont pas fondées, car l'usage prédictif des mathématiques n'est pas justifiable par un principe général. Ils en concluent que cette application des mathématiques a une utilité seulement heuristique, dans un contexte de découverte.

Après avoir critiqué les positions de ces auteurs, et examiné en détail deux cas historiques (la prédiction du positron par Dirac, et du baryon Ω- par Gell-Mann et Ne'eman), nous soutiendrons au contraire que ces prédictions mathématiques ne sont pas fondées sur autre chose que les prédictions standards, à savoir sur des énoncés physiques de lois. Seulement, les mathématiques ont permis à ces scientifiques, dans chacun de ces cas, de décrire adéquatement la structure d'une classe d'entités physiques, que nous n'avions pas toutes découvertes. Nous verrons alors que pour que cette application des mathématiques puisse fonctionner, il faut admettre comme vraie l'ontologie structuraliste des quantités et des lois défendue au chapitre VII.

Dans le chapitre IX, qui sera le dernier, nous appliquerons un raisonnement transcendantal au cas, celle fois, de la confirmation. Notre but sera de montrer que, pour que des énoncés physiques, mathématiquement formulés, soient légitimement confirmés par l'observation de leurs instances positives (c'est-à-dire « nomologiques »), alors il faut à nouveau concevoir les lois de la nature qu'ils désignent selon l'ontologie du chapitre VII. Pour faire le lien entre cette caractéristique épistémologique (pouvoir être confirmé par ses instances) et l'ontologie des lois, nous en passerons par un long examen du problème de Goodman concernant la confirmation (Goodman, 1954a). En effet, une analyse attentive du procédé de « vleuïfication » nous permettra de montrer que pour pouvoir être légitimement confirmé, un énoncé nomologique doit désigner non pas une *uniformité* de faits particuliers similaires, mais au contraire une *co-variation* entre propriétés. Grâce à ce qu'a découvert Goodman, et contre son nominalisme, nous montrerons que les lois de la nature doivent avoir une nature variationnelle (consister en des variations concomitantes de propriétés) pour que les énoncés qui les décrivent soient nomologiques.

Première partie : l'alphabet quantitatif de l'être

Ontologie générale des propriétés

Chapitre I : Le problème des propriétés

A l'origine des problèmes qui se posent en métaphysique à propos des propriétés et universaux, il y a peut-être une pratique de langage. Souvent, on attribue à certaines choses particulières des choses non-particulières. On affirme de *plusieurs* particuliers *différents* des prédicats *uns et identiques*. Ce fait de langage peut laisser penser que les propriétés que dénoteraient les *termes généraux*, lorsqu'elles sont instanciées dans les particuliers, sont ces entités à la fois unes et multiples qu'on appelle des universaux. Lorsque divers particuliers les instancient, elles existent de façon multiple et sont le cas en divers endroits de l'espace et du temps ; pourtant, elles sont toujours unes et les mêmes en chaque instanciation (on dit parfois qu'elles sont « entièrement présentes » en chaque instanciation, au sens où elles n'y sont pas partiellement). Comment concevoir ce mode d'être des propriétés (quand elles sont diversement instanciées) ? Cette question soulève le problème métaphysique de l'unité d'une propriété dans la multiplicité de ses instanciations (*'one over many' problem*) directement à partir d'un fait linguistique.

Comme tel, toutefois, ce n'est pas encore un problème. En effet, personne n'est contraint de chercher une conception correcte du mode d'être de ces propriétés, si on pense qu'elles n'ont d'existence que sémantique, et ne sont ainsi que projetées sur les choses par notre façon d'en parler. Cependant, nous partons dans ce travail du présupposé inverse, en posant qu'il est nécessaire, pour certains prédicats, de se demander ce qui rend vraies leurs attributions à divers particuliers. Nous parlons ici des prédicats dont il semble raisonnable, dans le cadre d'un réalisme économe (*sparse*)[1], de penser que leur correspondent réellement des propriétés dans les choses.

Nous appelons *réalisme des propriétés* la thèse selon laquelle, pour ces prédicats-là, l'énoncé qui les affirme des particuliers est rendu vrai par la présence, dans ces particuliers, d'une propriété correspondante. Ce qui rend vrai l'énoncé « F(a) », qui prédique F du particulier *a*, c'est la possession par *a* d'une propriété dénotée par F, possession qui est le *vérifacteur* de l'énoncé. Ce travail porte sur l'analyse ontologique de ces propriétés, et de leurs possessions par les particuliers en tant que vérifacteurs de ces énoncés. Nous défendons ici la thèse que nous ne devons tenir pour réelles que les propriétés (ou comme nous préfèrerons l'écrire, les *déterminations*) *quantitatives*, et ne tenir les propriétés qualitatives pour réelles que *relativement* à un cadre sémantique, c'est-à-dire circonscrire l'engagement ontologique envers ces propriétés dans une forme modérée de « réalisme interne ».

[1] Il y a au moins deux façons de concevoir cette économie, qui correspond globalement au refus de postuler une propriété réelle pour chaque prédicat du langage. Une première façon est d'exclure *a priori* certains prédicats de cette correspondance, en éliminant par exemple les prédicats disjonctifs et négatifs. Une autre façon est de considérer que les sciences de la nature nous fournissent la liste des prédicats qui correspondent aux espèces naturelles ou au grandeurs physiques pertinentes (les « propriétés rares »), et envers l'existence desquelles seules il faudrait s'engager. Les deux façons ne sont d'ailleurs pas incompatibles, comme le montre (Armstrong, 1978a).

Comme nous tiendrons les propriétés quantitatives pour réelles séparément de tout cadre linguistique, nous pourrons les dire *absolument* réelles.

Voici comment nous allons procéder. Dans la section 1., nous allons poser un problème métaphysique, qui permet d'embrasser différentes approches ontologiques des propriétés comme autant de solutions possibles. Ensuite, nous analyserons et critiquerons successivement deux des principales solutions, la voie des tropes (section 2.) et la voie des universaux (section 3.).

1. Le réalisme et le problème métaphysique des propriétés.

Nous devons expliciter le cadre (réaliste) dans lequel se pose le problème métaphysique des propriétés, qui nous servira ensuite pour examiner les deux grandes réponses qu'on a pu y apporter, celle des tropes et celle des universaux.

1.1.Être réaliste à l'égard des propriétés ?

Soient F(a), F(b), F(c), etc., divers énoncés vrais qui attribuent un même prédicat F à différents particuliers a, b et c, etc. Quelles sont les conditions de vérité de ces énoncés ? Nous appelons « réalisme » la thèse selon laquelle il ne suffit pas, pour répondre à cette question, d'établir une sémantique en analysant les conditions de *satisfaction* de ces énoncés. On admet certes que si les particuliers a, b et c, etc. tombent dans l'extension du prédicat F, d'après une fonction sémantique d'assignation, alors les conditions de vérité de l'énoncé seront bien définies. Mais un réaliste pense de surcroît (1) que la vérité de ces énoncés, telle qu'analysée par cette sémantique, est *fondée dans ce que sont* les choses dont on parle. Lorsque nous disons qu'une sémantique est ontologiquement fondée, cela signifie qu'elle stipule des conditions sous lesquelles les énoncés sont vrais, et qu'il doit *exister quelque chose qui réalise et remplit ces conditions*, et donc *rend effectivement vrais* les énoncés. Autrement dit, notre réaliste pense qu'il existe des vérifacteurs. Mais ce n'est pas tout, car il pense aussi (2) qu'il faut proposer une conception ontologique de ce genre d'entités que sont ces propriétés, qui *vérifont* l'attribution de certains prédicats à des particuliers. Ainsi, nous allons devoir mener une enquête ontologique, à travers les propriétés, tropes, états de choses et universaux… Mais nous ne nous aventurons sur le terrain aveugle de l'ontologie qu'à la recherche du vérifacteur adéquat pour ces énoncés qui, pour le dire simplement, affirment la même chose de choses différentes. Loin de faire de l'ontologie pour elle-même, notre excursion sera contrainte par des exigences très strictes portant sur le vérifacteur recherché.

Deux voies principales ont été dégagées, au siècle dernier, pour mener à bien cette analyse ontologique. Toutes deux reconnaissent la réalité de ce qu'on peut appeler des « propriétés », qui servent de vérifacteurs à nos prédications. Toutes deux s'entendent donc sur le rejet de l'ontologie nominaliste

stricte, qui n'admet l'existence que des particuliers individuels (que nous appelons par la suite « particuliers de premier ordre », en suivant Armstrong, ou « particuliers concrets », en suivant les tenants des tropes). Quelles que soient les propriétés qui sont possédées par ces particuliers concrets, elles ne sont pas le même genre d'entités qu'eux. Mais justement, sont-elles à leur tour des particuliers (non-individuels, c'est-à-dire d'un autre ordre), ou bien des universaux, non particuliers ?

La voie des universaux d'abord, héritière de Platon et d'Aristote[2], a été remise au goût du jour par Russell, Moore, puis plus récemment par David Armstrong[3]. Selon ces auteurs, il existe des entités non-particulières, qui peuvent être instanciées de manière répétée dans l'espace et le temps, tout en étant *numériquement unes*. Ce sont les universaux. Mais d'autres auteurs, inspirés par la tradition nominaliste, refusent l'existence de ces entités non-particulières. Comme les nominalistes, Stout, Williams, Campbell, n'admettent dans le monde que des entités particulières[4]. Mais contre les nominalistes, et pour rendre compte du statut des propriétés, ils admettent des particuliers *abstraits* ou *tropes*, qui ne sont pas des individus ou particuliers concrets, mais des « aspects particuliers » ou « manières particulières d'être » de ces particuliers. Ces tropes ne sont pas répétables comme les universaux. En effet, ils sont numériquement distincts s'ils sont distingués par des coordonnées d'espace et de temps (ou par les coordonnées des individus qui les possède). Autrement dit, ils sont des particuliers (abstraits ou de second ordre) présents dans des particuliers concrets et individuels (de premier ordre).

Chacune de ces voies soulèvent des problèmes propres. Le partisan des universaux affirme que les universaux sont la meilleure façon de rendre compte des faits objectifs de ressemblance. La relation de ressemblance s'entend ici au sens objectif et ne dépend pas d'un jugement sensible[5], et dans tout ce travail, on la prendra comme synonyme de la relation de similarité (*sameness*). Son domaine est celui des particuliers, qui ont entre eux une relation de ressemblance dès qu'ils ont les mêmes aspects et paraissent donc avoir la « même » propriété. Pour le tenant des universaux, il faut prendre cette mêmeté au sens strict d'une identité (numérique) : à travers les différents cas particuliers, c'est une même et unique propriété (un universel) qui est instanciée[6]. L'argument principal de l'universaliste (du tenant des universaux) s'appuie sur ces faits de ressemblance : l'existence d'un universel est, selon lui, la meilleure façon de *rendre compte des ressemblances* entre particuliers concrets au moins numériquement distincts.

Mais on affronte alors le problème redoutable de l'instanciation : comment concevoir la relation d'instanciation entre un universel et des particuliers, par laquelle une même propriété se trouve dans

---

[2] Le cas d'Aristote est ambigu, puisqu'il n'est pas facile de déterminer si d'après lui les propriétés possédées par les choses particulières le sont à titre d'universaux ou de particuliers (ou « tropes », comme on dit aujourd'hui).
[3] Voir (Russell, 1959), (Moore, 1923), (Armstrong, 1978a), (Armstrong, 1978b), (Armstrong, 2004), (Armstrong, 1989).
[4] Voir (Stout, 1921), (Williams, 1953), (Williams, 1953), (Campbell, 1981), (Campbell, 1990).
[5] En particulier, elle n'est pas à réduire à la ressemblance sensible entre vécus élémentaires (*erlebs*) chez Carnap.
[6] Ceci ne signifie pas que nous ne considérons que les universaux instanciés, c'est-à-dire prenons position dans la querelle entre platoniciens (qui admettent des universaux non-instanciés) et aristotéliciens (qui les refusent). Simplement nous considérons ce qui se passe, ontologiquement, quand un universel s'instancie, qu'il puisse ou non ne pas le faire.

divers particuliers ? Le danger bien connu qui menace une telle relation est celui d'une régression vicieuse si, tenant la relation d'instanciation elle-même pour un universel, il faut alors recourir à une nouvelle relation d'instanciation pour l'instancier entre tout particulier et l'universel. En général, la parade revient à tenir l'instanciation pour un *fait primitif* et non-relationnel, une connexion non analysable par une ontologie des relations (nous analyserons en détails les régressions et leur parade par le fait primitif de l'instanciation, dans la section 3.).

Si l'on pense que ce problème de régression est sérieux et fatal pour les universaux, et que tenir l'instanciation pour primitive revient à mettre la poussière sous le tapis, on peut adopter le point de vue des tropes. Les tropes sont ces aspects abstraits des choses individuelles et concrètes, qui sont eux-mêmes parfaitement particuliers et distincts les uns des autres, mais qui peuvent être *exactement ressemblants*. Par exemple, deux émeraudes qui sont vertes possèdent, pour un tenant des tropes, deux aspects particuliers et distincts : la couleur verte de l'une, la couleur verte de l'autre. Mais si, comme on le dit, « elles sont exactement de la même couleur », cela ne signifie surtout pas qu'il s'agit *d'une même et unique* propriété (un universel), mais seulement que les deux tropes sont dans une relation d'exacte ressemblance.

Voici alors ce qu'un tenant des universaux pourrait lui objecter (Armstrong, 1978a, pp. 83-88). La supposition réaliste de l'existence des propriétés, au départ, permettait de rendre compte des ressemblances entre les particuliers de premier ordre. Si deux particuliers se ressemblent, selon les aspects de la couleur, c'est qu'ils ont une propriété en commun. Mais si ces aspects dans les individus sont vus comme des tropes, numériquement distincts et exactement ressemblants, et non comme un même et unique universel, alors le problème de la ressemblance n'est pas résolu. Pour le résoudre entre les particuliers concrets, on le pose entre les particuliers abstraits, ce qui n'est guère satisfaisant, aux yeux de quelqu'un comme Armstrong. On pourrait même y voir l'amorce d'une régression vicieuse s'il fallait, pour analyser la ressemblance entre particuliers d'ordre n, poser l'exacte ressemblance entre leur tropes ou particuliers d'ordre $n+1$.

La parade d'un partisan des tropes, face à ce problème, ressemble furieusement à celle d'un tenant des universaux face au problème de l'instanciation. Elle consiste à tenir la relation de ressemblance *exacte* pour interne et primitive. Quelle différence un partisan des tropes ferait-il valoir entre la ressemblance partielle entre particuliers concrets, et la ressemblance exacte entre tropes ? Deux particuliers concrets se ressemblent partiellement dans la mesure où ils se ressemblent exactement sous certains aspects, mais diffèrent sous d'autres aspects. La ressemblance exacte entre deux aspects se définit ensuite comme l'identité qualitative entre eux. La ressemblance exacte est donc plus primitive que la ressemblance, dans la mesure où elle tient entre des aspects abstraits des particuliers concrets.

S'il n'est pas besoin de l'analyser, alors la régression est évitée[7] ; parade qu'un partisan des universaux pourrait très bien, à son tour, moquer comme stratégie de « poussière sous le tapis ».

Cette opposition entre les universaux et les tropes est structurante pour le débat actuel sur les propriétés. Il en va de la nature même de ce que nous appelons les « propriétés génériques », c'est-à-dire des propriétés rares correspondant à des prédicats qui se peuvent dire de plusieurs choses particulières distinctes[8] : sont-elles de nature *particulière* (comme le sont les tropes), ou de nature *universelle* (c'est-à-dire unes et identiques à travers toutes leurs instanciations spatiotemporelles) ? Nous tenons cette opposition, irréductible, pour un symptôme ou un effet d'un unique problème, que nous appellerons « le problème métaphysique des propriétés génériques ». L'opposition entre tropes et universaux nous apparaît comme la projection, dans un champ de bataille purement ontologique, d'un dilemme qui concerne la *vérifaction* des énoncés qui disent la même chose de choses particulières différentes. En restaurant l'unité de ce problème, nous espérons faire apparaître les insuffisances conjointes des deux approches.

1.2.Le problème métaphysique des propriétés génériques.

Appelons « prédicat générique » tout prédicat F qui peut être véridiquement attribué à plusieurs particuliers, et qui désigne une caractéristique répétable de ces choses[9]. Soient les particuliers de premier ordre a, b, c, etc., dont il est vrai de dire qu'ils sont F. Comment peut-on affirmer véridiquement la même chose de particuliers divers ? Comment analyser les conditions de vérifaction des énoncés qui attribuent quelque chose de général (ou répétable) à plusieurs particuliers ? Les énoncés F(a), F(b), F(c), etc., désignent autant de faits particuliers distincts ; et pourtant, ce qui les rend tous vrais doit être quelque chose de similaire entre tous les cas. En termes vérifactionnels, voici la formulation que nous proposons du « problème métaphysique » (PM) :

> *(PM) Comment concevoir un vérifacteur commun à des énoncés qui attribuent un même prédicat générique à des particuliers distincts ?*

---

[7] Voir (Simons, 1994).

[8] L'adjectif « générique » est redondant et pourrait paraître inutile, dans la mesure où toute propriété semble pouvoir s'attribuer à divers particuliers. Mais premièrement, ce n'est pas garanti, tant que nous n'avons pas exclu la possibilité de propriétés individuantes, c'est-à-dire de propriétés qui non seulement ne sont instanciées que par un seul particulier, mais *ne peuvent pas* être instanciées par d'autres. Or, si elles existaient, elles tomberaient immédiatement en dehors de notre problème, qui concerne le fait de l'instanciation multiple des propriétés et le ou les vérifacteurs de ces énoncés où l'on affirme quelque chose de général de divers particuliers. D'autre part, « générique » nous permet aussi de restreindre le champ des propriétés considérées aux propriétés « rares », c'est-à-dire les propriétés physiques fondamentales sur lesquelles toutes les autres surviennent.

[9] Dans la langue ontologique contemporaine, le terme « répétable » renvoie ordinairement aux universaux, que l'on définit parfois comme des « propriétés ou caractéristiques répétables », au sens où elles peuvent être présentes et exister plusieurs fois dans le monde. D'après cet usage, l'utilisation de ce terme serait déjà un parti pris dans la querelle entre universaux et tropes. Mais nous pensons au contraire qu'il nomme parfaitement le *problème* des propriétés, et non l'une de ses *solutions* possibles : comment concevoir qu'une propriété se répète dans l'existence ? Est-ce la même et unique entité qui est multiplement instanciée (universaux), ou bien cette répétition est-elle un fait de ressemblance exacte (tropes) ?

Ce problème est formulé dans le langage des vérifacteurs, et non directement dans les termes ontologiques des propriétés. Nous allons donner sa traduction purement ontologique, pour mieux les distinguer.

1.2.1. Propriété générique et ressemblance.

Appelons « propriété générique » cette caractéristique F, quand elle existe. Elle est une caractéristique que possèdent tous les particuliers concrets a, b, c, etc. dont sont vrais les énoncés F(a), F(a) ; F(c), etc. Tout le problème ontologique (PO) est justement de savoir si, dans cette répétition, F est une seule et même chose (un universel) ou bien des tropes particuliers mais exactement ressemblants.

> *(PO) Comment concevoir le mode d'être de la propriété générique F commune à des particuliers concrets distincts ?*

On pourrait croire que (PO) est le simple décalque ontologique de (PM). Pourtant, on s'aperçoit que (PO), le problème de la répétition d'une propriété générique, s'identifie rigoureusement à celui connu dans la littérature sous le nom de la ressemblance objective (*objective sameness*) ou similarité de type entre particuliers. Comment deux particuliers numériquement distincts peuvent-ils se ressembler exactement sous un certain aspect ? Faut-il analyser cette ressemblance comme la possession par chacun d'une même entité, ou bien comme une relation irréductible entre aspects abstraits ? Faut-il concevoir la propriété générique comme universel ou comme classe de tropes exactement ressemblants ? Formulé ontologiquement, le problème (PM) des propriétés génériques se réduit au problème de la ressemblance. Les tenir pour équivalents, ce serait donc présupposer que si plusieurs énoncés disent la même chose de particuliers distincts, alors ces particuliers se ressemblent sous l'aspect désigné par le prédicat, et que ce qui rend vrais tous ces énoncés est ce qui explique la ressemblance entre les particuliers. Dit plus simplement, c'est présupposer que la possession d'une propriété générique commune F est équivalente à la ressemblance entre les particuliers qui la possèdent. Ne pas distinguer (PM) de (PO), c'est donc présupposer que la possession par différents particulier de la même propriété équivaut à une ressemblance objective entre eux.

Ce présupposé de la ressemblance est largement admis, aujourd'hui, dans la littérature sur l'ontologie des propriétés génériques, et il peut paraître encore irrésistible. La ressemblance objective n'est-elle pas justement ce qui permet au réaliste de dire qu'il y a des « propriétés naturelles », peu nombreuses et réellement possédées par les choses, en face de toutes les « propriétés artificielles » qui ne sont que les ombres projetées de nos prédicats sur les choses ? Par exemple, qu'est-ce qui distingue

les propriétés « être verte » et « être vleue »[10], projetées parmi les émeraudes, sinon que la première fonde un fait de ressemblance objective de couleur entre émeraudes (qui sont toutes vertes) ? Au contraire, la seconde avèrerait son caractère artificiel par la dissemblance de couleur qu'elle engendrerait parmi les émeraudes, si toutes la possédaient.

Pourtant, nous ne voulons ni présupposer que la ressemblance est un bon indice de l'existence d'une propriété réelle et naturelle, ni surtout contraindre la solution à notre problème métaphysique (PM) à être une solution au problème de la ressemblance objective. Rien ne rend nécessaire, à première vue, que deux particuliers qui possèdent la même propriété simplement au sens où un même prédicat générique est vrai d'eux, possèdent la même propriété au sens où il y aurait entre eux une ressemblance objective. Au contraire, nous montrons dans ce premier chapitre et le deuxième que ce présupposé est en grande partie responsable de la double impasse que constituent les voies des universaux et des tropes, et notre propre solution à (PM), donnée dans le chapitre III, s'en émancipera. Nous montrerons que nous ne pouvons concevoir les vérifacteurs des attributions d'un même prédicat générique à des particuliers distincts qu'en postulant une forme très précise de dissemblance entre eux, la différence quantitative. C'est pourquoi nous devons maintenir (PM) et (PO) bien distincts.

1.2.2. Conditions de particularité et de généricité.

Pour préciser le problème métaphysique des propriétés génériques (PM), nous allons formuler deux propositions, et demandons d'admettre l'une séparément de l'autre, en raison de sa plausibilité propre. (PM) émerge comme problème lorsque nous cherchons à les remplir toutes les deux ensemble.

1.2.2.1.Deux conditions vérifactionnelles.

Formulons d'abord les deux conditions, avant de faire deux précisions sur leur interprétations. Elles sont deux conditions portant sur les vérifacteurs des énoncés attribuant des prédicats génériques à divers particuliers.

> *Condition de particularité : ce qui rend vrai l'énoncé « F(a) », c'est-à-dire l'attribution du prédicat générique F au particulier a, c'est « quelque chose de a », c'est-à-dire quelque chose où le particulier a est impliqué, ou quelque chose qui concerne le particulier a.*

---

[10] C'est-à-dire « être observé avant t et être vert, et être bleu sinon ». *Cf* chapitre IX pour les définition et discussion de ce prédicat étrange.

Nous restons volontairement vagues dans ces formulations, car il reviendra à l'examen des solutions au problème d'en analyser plus précisément les termes. Mais tout le sens de cette condition de particularité est de garantir, par l'ontologie de son vérifacteur, que l'énoncé F(a) porte bien *sur* le *particulier a*. Et concernant le particulier *a*, la vérité de l'énoncé « F(a) » est une vérité particulière. Par exemple, si l'on dit que cette pomme est rouge, c'est bien de cette pomme particulière que l'on parle, et c'est donc *quelque chose de ce particulier* qui doit rendre vraie l'attribution. On ne voudrait pas, en revanche, se retrouver à dire que c'est la « Rougeur », ou bien la « classe des choses rouges », qui rendent vraie cette attribution, car ils n'ont rien à voir avec *cette* pomme rouge particulière. Mais il faudra dire au contraire que c'est « la possession de la Rougeur *par a* », ou bien « l'appartenance *de a* à la classe des choses rouges », qui la rend vraie. Ces deux exemples de réponse satisfont bien la condition de particularité, parce qu'ils impliquent le particulier a dans l'identification du vérifacteur. Bien sûr, cette condition doit valoir également pour les autres énoncés F(b), F(c), etc., qui parlent d'autres particuliers.

> *Condition de généricité : ce qui rend vrai l'énoncé « F(a) » dans a est identique à ce qui rend vrai les énoncés F(b), F(c), etc., qui attribuent le même prédicat générique à des particuliers distincts.*

En effet, nous parlons de choses particulières distinctes, *mais nous en disons la même chose*. Il semble dès lors raisonnable d'exiger que, dans la conception que l'on se fait de ce qui rend vrais ces énoncés, on retrouve un élément commun. Si, en effet, cette condition de généricité n'était pas satisfaite, alors cela signifierait qu'on pourrait reformuler ces énoncés en utilisant pour chaque particulier un prédicat différent des autres, puisqu'on ne dirait en réalité pas la même chose de tous. La condition de généricité traduit seulement cela en contrainte sur les vérifacteurs de ces énoncés. A propos de cette « même chose » – la propriété, la question ontologique est de savoir ce que c'est : un universel, ou bien l'appartenance à une même classe de tropes exactement ressemblants ? Cette condition formule une exigence propre à la conception de la *vérité* de ce genre d'énoncés, et exerce donc *en amont* une contrainte sur l'ontologie des propriétés génériques.

Avec ces deux conditions, les exigences propres à la conception de la vérité des énoncés génériques contraignent l'enquête ontologique. Cela signifie que nous nous refusons à faire de l'ontologie gratuitement, mais toujours en suivant un problème *posé à l'ontologie*, mais *venu de la conception de la vérité* de certains énoncés. Nous allons montrer ensuite comment ces deux conditions vérifactionnelles, tenues ensemble, tirent l'ontologie du vérifacteur dans deux directions contraires. Mais avant cela, nous devons faire deux précisions sur ces conditions et leur insertion dans la littérature sur le problème des propriétés et des universaux.

1.2.2.2.La sémantique n'est pas une voie d'accès à l'ontologie.

Premièrement, il faut bien préciser que la seconde condition ne constitue pas un retour à une naïveté pré-quinienne en ontologie. Elle ne dit pas que le prédicat générique, fût-il sélectionné par notre meilleure théorie scientifique, devrait *dénoter* une propriété commune à divers particulier. Suivant les conclusions de « *On What There Is* », il ne s'agit pas ici de restaurer la sémantique comme voie d'accès à ce qu'il y a. Le nominaliste nous mettait en garde contre la tentation d'accéder aux universaux par la signification de nos termes généraux. Mais depuis les travaux d'Armstrong, on admet généralement que le problème des propriétés pouvait se poser indépendamment de la sémantique, par exemple à partir du fait de la ressemblance objective, dont il faudrait rendre compte ontologiquement. Cette condition de généricité ne réclame pas l'identité des vérifacteurs en vertu du fait que dans les diverses attributions, on *signifierait* la même chose. Elle porte sur l'ontologie des vérifacteurs des attributions d'un *même* prédicat générique : il n'est pas question de signification.

On vérifie très bien que cette condition de généricité ne contredit pas les mises en garde du nominaliste en s'apercevant que ces deux conditions sont *immédiatement satisfaites* dans un cadre nominaliste. Pour lui, la vérité d'un énoncé qui attribue F à a équivaut simplement au fait que l'individu a est, *en vertu de ce qu'il est*, un élément de l'extension du prédicat F, définie par une sémantique. Ce qui rend vraie cette attribution, c'est l'appartenance de a à un ensemble défini, c'est donc bien « quelque chose de a ». La condition de particularité est donc satisfaite. Le réaliste réclamerait une analyse ontologique du fondement de cette appartenance sémantique. Mais le nominaliste s'y refuse et maintient qu'on ne peut pas entrer plus avant dans l'ontologie : « a est F » est vrai seulement en vertu de ce qu'est a (il est F)[11]. En même temps, ce qui rend vrais les autres énoncés, F(b) ou F(c), qui affirment la même chose d'autres particuliers, c'est l'appartenance au *même* ensemble : la classe des choses qui sont F. Cet ensemble est le même parce qu'il définit l'extension d'un unique prédicat. La condition de généricité est donc également aussitôt satisfaite. Comme le non-réaliste ne cherche pas à postuler quelque chose de réel dans les divers particuliers a, b, c, etc., et commun à tous, comme il ne recherche pas la *réalité* des propriétés, les deux conditions sont satisfaites sans conflit.

Ainsi, d'un pur point de vue sémantique, ces deux conditions ne sont ni problématiques, ni très intéressantes. Ce n'est que pour le réaliste des propriétés qu'elles engendrent le problème que nous allons voir, car il cherche à fonder ces faits vérifactionnels sur une ontologie du vérifacteur. Comme Michael Devitt le montre bien, ce qui sépare le réaliste du nominaliste ne relève pas de considérations

[11] On voit bien en quoi *nominalisme* (la position ontologique qui n'accorde d'existence qu'aux particuliers de premier ordre, dénotés par les termes d'individus) et *théorie déflationniste de la vérité* (la position qui refuse la possibilité d'analyser les fondements ontologiques de la vérité de nos énoncés, plus loin que la redondance : « un énoncé est vrai parce que ce qu'il dit est le cas » ou « 'p' est vrai si et seulement si p ») se rejoignent dans ce que nous appelons ici, d'une étiquette volontairement large, « non-réalisme ».

sémantiques, mais touche à la question de savoir s'il faut, ou non, fonder une sémantique dans la réalité des particuliers qui entrent dans le domaine (Devitt, 1980).

1.2.2.3.Deux problèmes distincts ?

Notre seconde remarque porte sur la possibilité de conjoindre ces deux exigences pour poser le problème des propriétés. Dans *Abstract particulars*, Keith Campbell écrit :

> Nous pouvons poser deux questions très différentes à propos, disons, des choses rouges. Nous pouvons prendre un seul objet rouge et nous demander : en vertu de quoi, qui concerne cette chose, est-elle rouge ? Appelons cela la question A. Ensuite, nous pouvons nous demander, à propos de deux choses rouges : en vertu de quoi, qui concerne ces deux choses, sont-elles toutes les deux rouges ? Que cela soit la question B. Les discussions du problème des universaux tiennent constamment pour acquis qu'on doit apporter des réponses parallèles aux deux questions (Campbell, 1990, p. 29).

Il est difficile de voir ce que sont des « réponses parallèles », mais en l'occurrence, il est vrai que le réaliste des universaux apporte la *même* réponse à ces deux questions. Si une chose rouge est rouge, et si deux choses rouges sont toutes deux rouges, c'est en raison de la présence en elles d'une propriété une et identique de rougeur. Ce que reproche Campbell à ce problème, c'est d'avoir été fabriqué de toutes pièces par le tenant des universaux pour rendre ses propres conclusions irrésistibles. Mais dès que l'on s'aperçoit que rien n'empêche de donner aux questions A et B des réponses *différentes*, l'existence des universaux n'est plus la seule solution. Campbell montre ensuite que la théorie des tropes et des classes de tropes exactement ressemblants permet de résoudre les deux problèmes séparément. Alors notre « problème des propriétés » présuppose-t-il que ces deux questions reçoivent la même réponse ? Et constitue-t-il un parti pris illégitime en faveur d'une ontologie des universaux ?

Nous ne le pensons pas. Premièrement, nous avons déjà expliqué qu'un nominaliste peut très bien accepter les conditions de particularité et de généricité : sa théorie les satisfait trivialement. Deuxièmement, si l'on cherche à les satisfaire d'un point de vue réaliste, nous verrons dans les sections suivantes que la solution des universaux ne sera pas favorisée par le problème lui-même ; la théorie des tropes nous semblera au moins aussi acceptable. Enfin, et c'est le plus important, il faut souligner une différence majeure entre les deux questions de Campbell et nos deux conditions : les nôtres portent sur les conditions de vérifaction des attributions, et non sur les propriétés des choses elles-mêmes. Autrement dit, nous ne demandons pas que ce soit la même chose qui rende compte *de la couleur rouge* d'une chose, *et de la couleur rouge* de deux choses qui se ressemblent ; mais nous demandons que ce soit la même chose qui rende compte de la vérité d'un énoncé particulier « F(a) », comme de la vérité

des autres énoncés qui attribuent le même prédicat générique à des choses différentes. Or, comme nous le verrons, ce pas de côté offre suffisamment de latitude pour qu'un partisan des tropes tente de remplir ces deux exigences.

Mais avant d'examiner les réponses offertes par les deux voies ontologiques, nous devons construire plus explicitement le *problème* que posent ensemble ces deux conditions vérifactionnelles.

1.3. Victoire et défaite de la particularité.

Nous allons montrer que ces deux conditions entraînent, pour les vérifacteurs des énoncés d'attribution de prédicats génériques, des conséquences métaphysiques qui paraissent incompatibles.

1.3.1. La « victoire de la particularité » (Armstrong).

Essayons d'appliquer la *condition de particularité* à l'analyse du vérifacteur de l'énoncé « F(a) ». Ce qui rend vrai l'attribution de F à a, c'est « le fait que a soit F ». Pour parer toute ambiguïté, signalons que nous suivrons l'usage en symbolisant ce fait également par « F(a) ». Ainsi, le même syntagme renvoie à la fois à l'énoncé (l'attribution de F à a) et le fait que désigne cet énoncé ; mais toutes les fois qu'une équivoque sera possible, nous préciserons s'il s'agit de l'énoncé ou du fait. Soit donc « F(a) » le fait que a soit F.

La question ontologique sera alors de savoir en quoi consiste ce fait : s'analyse-t-il comme la possession par a de la propriété F ? la présence de l'universel F en a ? l'instanciation de F par a, l'état de chose « a étant F » ? F comme étant une manière d'être de a ? Quelle que soit, pour l'instant, l'analyse ontologique de ce fait, a et F sont des parties essentielles de « F(a) ». Il ne serait pas ce qu'il est s'il n'incluait pas a et F. Or la question qui se pose est celle du statut métaphysique de cette entité « F(a) » qui serait le vérifacteur de l'attribution de F à a. En vertu de la condition de particularité, F(a) doit être un particulier, parce qu'on énonce une vérité particulière en attribuant F à a. Donc l'entité qui rend vraie l'attribution de F au particulier a est elle-même quelque chose de particulier.

Les tropes sont alors des candidats naturels au rôle de ces vérifacteurs, puisqu'en tant que particuliers, ils satisfont automatiquement à cette première condition[12]. Mais la position ontologique des tropes n'est pas un passage obligé pour satisfaire la condition de particularité. Dans un tout autre registre, ce qu'Armstrong appelle un état de choses y satisfait pleinement. Pour Armstrong, nous désignons par « F(a) » une entité qui existe authentiquement, c'est l'état de chose « a étant F », composé de l'universel

[12] Stout, qui milite dans le camp des tropes, ne s'y est pas trompé. Il identifie le trope avec le vérifacteur de la prédication : « Une substance est une unité complexe d'un type à la fois ultime et bien particulier, car elle inclut en elle tous les caractères véridiquement prédicables (*truly predicable*) de la substance. Être véridiquement prédicable de la substance c'est être contenu dans son unité » (Stout, 1921).

F et du particulier a qui l'instancie. Il est ce fait qui est désigné par « F(a) », et donc ce qui, étant le cas, rend vraie l'attribution de F à a. Or Armstrong souligne toujours combien il est remarquable que cet état de choses, composé d'un particulier a et d'un universel F, soit à son tour un particulier. C'est ce qu'il appelle « la victoire de la particularité » : le fait F(a) est un particulier. C'est un phénomène dont Armstrong aime bien s'étonner, à plusieurs reprises dans ses livres, mais dont il ne donne jamais tout à fait le sens. Or cette victoire de la particularité est tout simplement requise par la condition vérifactionnelle de particularité. Le fait « F(a) » doit être particulier parce qu'il rend vrai ce qu'on dit du particulier a. La victoire de la particularité est le titre pompeux du fait d'énoncer une vérité particulière.

Cependant, une fois reconnue cette particularité, il devient extrêmement difficile de satisfaire la seconde condition vérifactionnelle, de *généricité*. Donnons la forme générale du problème. Si c'est un fait particulier, qui rend vrai 'F(a)', alors comment rendre compte du fait que c'est le même prédicat qui est vrai de particuliers différents ? Autrement dit, comment penser ce qu'ont en commun les différents vérifacteurs particuliers F(a), F(b), F(c), etc. ? Si l'on doit attribuer à ces faits une nouvelle propriété qu'ils partageraient, alors le problème n'est que repoussé du niveau des particuliers a, b, c, etc., à celui des particuliers F(a), F(b), F(c), etc. On voit s'installer la forme d'une *régression vicieuse*, qui s'épanouira parfaitement dans les sections suivantes. Ainsi, satisfaire d'abord la condition de particularité semble nous condamner, lorsqu'on se penche sur la condition de généricité, à une régression vicieuse.

1.3.2. La défaite de la particularité.

Renversons alors la procédure, et cherchons à satisfaire d'abord la seconde condition. Disons que ce qui rend vraies *toutes* les attributions du prédicat F aux particuliers a, b, c etc., qui sont F, c'est toujours un seule et même vérifacteur, identique dans ces divers particuliers et qu'on désignera commodément par « F ». Ici, le vérifacteur de 'F(a)' n'est plus « a étant F », qui comportait essentiellement le particulier *a* pour partie, mais « F », que l'on sait par ailleurs être en *a*, en *b*, en *c*, etc. Dans ce cas, les faits F(a), F(b), F(c) que disent les attributions « F(a) », « F(b) », « F(c) », sont en réalité un seul et unique fait, F. « F » est juste un nom (un terme singulier) pour une même chose qui se trouve en a, en b, en c. C'est ce que dit Stout :

> L'unité d'une classe ou d'un genre est constituée par l'identité d'un quelconque caractère, simple ou complexe, qui caractérise les choses dénotées par le nom général. Cette identité du caractère étant interprétée strictement et littéralement, l'unité d'une classe ou d'un genre est dès lors dérivée, et non ultime. Il n'y a pas de pluralité des qualités particulières correspondant à la pluralité des choses particulières : la qualité commune est indivisiblement unique. Parce que deux boules de billard sont toutes

> les deux rondes et lisses, la rondeur de l'une est la rondeur de l'autre, et le lisse de l'une est le lisse de l'autre. Les noms abstraits, en tant qu'ils représentent la qualité dans son unicité, sans référence à aucune multiplicité de choses qualifiées par cette qualité, sont par conséquent considérés comme des termes singuliers, tout comme les noms propres (Stout, 1921, p. 157).

« F(a) » est un nom ou un terme singulier dénotant l'état de chose qui est le vérifacteur de l'énoncé qui attribue F à a, mais c'est le même fait qui rend vrais les autres énoncés « F(b) », « F(c) », etc. Autrement dit, les différents noms, F(a), F(b), F(c) sont synonymes. Tout le problème, alors, est qu'on n'énonce *plus une vérité particulière*.

En réalité il y a deux problèmes distincts qui se posent avec cette analyse. *Premièrement*, il semble qu'on n'énonce plus de vérité du tout, dans la mesure où ce qu'on dit, « F », est un nom une situation générale : le fait qu'il y ait F. « F » ici n'est pas un prédicat que l'on attribue à quelque chose. Toutefois cette critique n'est pas décisive, dans la mesure où elle repose largement sur la vieille conception du jugement, selon laquelle seul un énoncé qui attribue quelque chose à quelque chose est susceptible d'être vrai. En réalité on pourrait très bien paraphraser ainsi l'énoncé : il existe un *x* qui est F, énoncé que l'on prononcerait devant des particuliers : a, b, c qui, étant F, le rendraient vrai.

Le *second problème* est plus décisif. Comme ce qu'on désigne est *la même et unique* chose dans toutes les occasions que l'on peut avoir de la désigner, on n'affirme plus *plusieurs* énoncés qui prennent en vue des particuliers *distincts*, mais on ne fait que répéter « F » à différentes occasions. On n'affirme jamais que la même chose *devant* plusieurs particuliers, mais non *de* plusieurs particuliers. Autrement dit, malgré la diversité des particuliers où l'on rencontre F, il n'y a pas plusieurs cas de F, mais un seul cas : F, diversement rencontré, un peu comme on croiserait plusieurs fois une même personne au long d'une semaine. C'est déjà trop de dire que F *se répète* dans toutes ses instances : c'est nous qui répétons plutôt l'acte de le reconnaître. Ainsi, en cherchant à satisfaire d'abord la condition de généricité, en se donnant un vérifacteur identique les diverses attributions, on perd cette pluralité des attributions et se rend incapable de satisfaire la condition de particularité. On assiste alors au phénomène inverse de ce qu'Armstrong appelait une « victoire de la particularité ». Ce qu'il faut déplorer maintenant est bien une « défaite de la particularité » : notre analyse de la vérifaction des énoncés génériques ne rend plus compte du fait qu'en chaque cas, c'est *de particuliers distincts* que nous affirmons la même chose, que c'est de *cas particuliers divers* qui sont F que nous parlons, et non d'un seul et unique objet « F » que nous rencontrons ou désignons à diverses occasions.

Comme au-dessus, il est utile de donner la traduction ontologique de ce problème vérifactionnel. Cette défaite déplorable de la particularité rejoint une position connue que partagent ceux qui pensent, d'une manière ou d'une autre, qu'il n'y a dans la réalité que *des entités non-particulières*. Bradley affirmait par exemple qu'il n'y a que des propriétés et des relations qui sont des universaux, et aucun particulier (Bradley, 1893). D'autres, aujourd'hui encore, affirment que les particuliers ne consistent

qu'en des *faisceaux* de propriétés et relations universelles[13]. Cette position ontologique est refusée par beaucoup d'auteurs, qui estiment que le rejet de la pluralité des particuliers est une conséquence trop couteuse de l'analyse des propriétés, ou qui jugent qu'un faisceau de propriétés ou relations ne pourra jamais jouir d'une existence particulière et concrète. Qu'on admette ou non des universaux, ces critiques poussent en tous les cas à admettre l'existence de particuliers.

Cette exigence ontologique est pour nous une conséquence de la première condition vérifactionnelle. Nous voulons pouvoir affirmer des vérités sur des particuliers, non seulement parce que c'est le cas de la plupart des énoncés de la vie courante, mais aussi et surtout parce que ces vérités ont une place essentielle en science : les conclusions des explications ou des prédictions, qui appliquent des lois de la nature à des situations particulières passées, présentes ou futures, sont essentiellement des vérités particulières. Si nous possédions la connaissance d'une loi de la nature L, et que la condition de particularité n'était pas remplie, alors nous serions incapables de reconnaître l'instanciation de la loi dans des cas particuliers. Devant un fait à expliquer, ou considérant une prédiction d'un phénomène couvert par cette loi, nous serions réduits à répéter : « L ».

1.3.3. Nouvelle formulation du problème des propriétés génériques.

Ces deux conditions forment une tenaille radicale, et un défi difficile pour l'ontologie du vérifacteur générique. Le problème métaphysique des propriétés peut se formuler désormais ainsi :

> *(PM*) Comment concevoir le mode d'être des propriétés génériques, pour satisfaire à la fois la condition de particularité et la condition de généricité ?*

Dire que les propriétés sont des caractéristiques *répétables* du monde ne peut absolument pas suffire à résoudre ce problème. Au contraire le terme « répétabilité » le condense à lui tout seul. La question : « Comment peut-on attribuer *véridiquement* la même caractéristique à des particuliers différents ? » peut être ainsi traduite ontologiquement : « Comment une propriété peut-elle se répéter ? ». Nous allons maintenant examiner de près les deux grandes voies ontologiques qui apportent des solutions profondes et intéressantes à ce problème : la voie des tropes et la voie des universaux.

Or signalons tout de suite que ces deux voies se présentent comme des solutions au problème (PM*) conçus comme le problème ontologique (PO) de la ressemblance : comment concevoir le mode d'être d'une « propriété », en désignant par là ce qu'on en commun divers particuliers qui se ressemblent. Nous allons voir que les tropes et les universaux sont deux théories ontologiques des propriétés censées permettre de rendre compte du fait que plusieurs particuliers se ressemblent

[13] Voir par exemple (Russell, 1948), Partie II, chapitre 3 et Partie IV, chapitre 8, et (Hochberg, 1969).

exactement sous un certain aspect. Or ces analyses échoueront à en rendre compte, et nous conclurons au sortir de ces deux sections *qu'une pluralité de cas exactement ressemblants* est quelque chose d'ontologiquement impensable, malgré la sorte d'évidence intuitive que l'expression semble recouvrir. C'est dans le chapitre III seulement, en exposant notre propre solution à (PM*) que le bénéfice de la formulation *vérifactionnelle* du problème se fera le mieux sentir, en nous libérant du schéma intuitif et si séduisant de la ressemblance. Nous tenterons de penser le fait, pour divers particuliers, d'être des cas de la même propriété, et donc pour des vérifacteurs, de rendre vraie l'attribution d'un même prédicat à divers particuliers. Mais il faudra le faire sans présupposer que présenter la même propriété, c'est se ressembler sous un certain aspect. C'est au prix de cet effort qu'on réussira à penser dans toute leur originalité la nature ontologique des propriétés.

2. La voie des tropes ou l'impasse des particuliers abstraits.

La théorie des tropes est une façon de concevoir les propriétés susceptible d'apporter une réponse élégante à notre problème. Un trope est, selon la définition qu'en donne Williams, un aspect particulier d'une chose particulière (Williams, 1953). Un trope est un particulier, mais à la différence des choses particulières *concrètes* et *complètes*, il ne peut exister par lui-même (nous verrons plus loin le point de vue divergent de Keith Campbell). L'intérêt principal de cette catégorie ontologique est de proposer une réponse au problème de la ressemblance objective entre choses concrètes, sans recours aucun à des entités douteuses comme les universaux.

En effet, lorsque deux choses concrètes présentent des qualités similaires, comme la même nuance de la même couleur, ou la même masse, le recours aux tropes dispense de postuler une entité *unique*, l'universel de cette nuance de couleur ou de cette masse déterminée, que les deux choses auraient en partage. Seulement, chacune des deux choses possèdent son trope particulier de couleur, son trope particulier de masse. La théorie des tropes considère donc que les propriétés sont des particuliers dans les choses particulières, ou encore, qu'il n'existe que des occurrences distinctes de propriétés, mais pas d'universaux. Nous allons voir en détail comment cette conception des propriétés permettrait de résoudre le problème métaphysique que nous posons, en proposant à la place de tout universel une pluralité de particuliers abstraits exactement ressemblants, c'est-à-dire qualitativement identiques (section 2.1.). Mais nous pouvons d'ores et déjà annoncer le sel de la critique que nous lui adresserons. Après avoir passé en revue une série d'arguments et de réponses tropistes à des objections (section 2.2), nous verrons qu'aussi attirante que soit la solution tropiste au problème des propriétés, les tropes telles qu'elles sont ainsi conçues, ne peuvent pas exister. Nous défendrons l'idée qu'il ne peut tout simplement pas y avoir une *pluralité primitive* de particuliers *abstraits* pouvant être exactement ressemblants, parce que nous ne pouvons pas concevoir leur distinction et leur diversité sans recourir à la distinction et la

diversité des particuliers concrets (section 2.3.). Or cette issue nous reconduira en réalité à la solution des universaux et des états de choses (section 2.4.).

2.1.Tropes et analyses de la ressemblance et de la prédication.

Les tropes peuvent-ils être les vérifacteurs qui résolvent notre problème métaphysique ? On s'est déjà facilement aperçu que leur particularité satisfait bien la première condition. Si l'on considère que ce qui rend vraie l'attribution à cette émeraude de sa couleur verte (comme prédicat), c'est la présence en elle de ce vert particulier (comme trope), alors le vérifacteur est bien quelque chose de particulier dans cette émeraude. En ce sens, si se présente à nous une autre émeraude de la même couleur, et que nous prédiquons de cette émeraude le *même* prédicat, le vérifacteur de cette seconde attribution est un trope *distinct* du premier et tout aussi particulier que lui : la couleur verte particulière de cette seconde émeraude. Mais comment, dès lors, satisfaire la condition de généricité ? On dira que leur caractère abstrait autorise une ressemblance *exacte* entre les tropes, qui suffit à rendre compte de l'utilisation du *même* prédicat.

En effet, Keith Campbell explique que deux tropes exactement ressemblants font *ipso facto* partie de la même classe, sur laquelle une sémantique peut se fonder pour définir l'extension d'un unique prédicat (Campbell, 1990, p. 30 et sq). Si on identifie le vérifacteur de l'attribution de F à a au trope de F présent en a, qui est un particulier abstrait, on peut néanmoins comprendre ce que ce vérifacteur a de commun avec les vérifacteurs des attributions de F à b, c, etc. Bien qu'ils soient tous particuliers, en tant que particuliers abstrait exactement ressemblants, ils sont membres de la même classe de particuliers abstraits. Ils ont donc en commun d'être des membres de la même classe des tropes de F.

On comprend alors pourquoi un tel prédicat suivrait bien les « articulations de la nature »[14], et s'appliquerait avec succès à un ensemble de particuliers divers. Les deux émeraudes ne présentent pas le *même* vert, au sens d'une *seule et unique* propriété qui aurait deux instances, mais deux verts particuliers *exactement ressemblants*. Si le prédicat 'vert' est associé à la classe des tropes exactement ressemblants, alors nous paraissons fondés à utiliser, dans chacun des deux cas, le même prédicat, et la condition de généricité semble également satisfaite.

2.2.Les objections d'Armstrong et les réponses tropistes.

Armstrong objectait à cette solution qu'elle ne faisait que poser, au niveau des particuliers de second ordre, le même problème de la ressemblance qui se posait au niveau des particuliers de premier ordre. Pour rendre compte de la ressemblance entre particuliers concrets, le tenant des tropes refuse de

[14] Selon l'expression platonicienne couramment reprise dans la littérature pour désigner les « *sparses properties* ».

postuler un universel, et préfère supposer l'existence d'une classe de particuliers abstraits exactement ressemblants. Mais ne faut-il pas maintenant rendre compte de cette ressemblance ?

On peut tout à fait répondre (selon une possibilité signalée par (Lewis, 1983)) que la relation de ressemblance exacte entre ces tropes ne pose plus de problème et peut être reconnue comme primitive. Autant la ressemblance *partielle* entre choses concrètes et composées doit être analysée, autant la ressemblance *exacte* entre tropes (qui sont des choses simples selon (Campbell, 1990)) ne semble pas analysable. Deux tropes sont exactement ressemblants, c'est-à-dire qualitativement identiques, en vertu seulement de ce qu'ils sont. Ainsi, le tenant des tropes s'offre un moyen élégant et surtout économe de penser les propriétés, et d'expliquer comment les particuliers concrets peuvent se ressembler sous certains aspects, et recevoir véridiquement les mêmes prédicats.

Williams ajoutait un second argument en faveur des tropes, en avançant que nous en faisons l'expérience continuelle et y faisons référence bien souvent. L'existence des *abstracta* particuliers est pour lui une donnée immédiate de l'expérience : « ce que nous voyons pleinement de la lune, par exemple, c'est sa forme et sa couleur, et pas du tout son volume dans sa globalité concrète [c'est-à-dire son individualité] – des générations ont vécu et sont mortes sans avoir suspecté qu'elle eût concrètement un volume » (Williams, 1953). Nous percevons et expérimentons en premier lieu les tropes : devant une balle rouge, nous percevons cette rougeur particulière sur la balle, et ne faisons pas d'abord l'expérience de l'individu concret dans sa totalité (la balle qui est rouge) ou de l'universel abstrait (la rougeur). Nous ne reprenons pas à notre compte cette thèse d'une priorité des tropes dans l'expérience, mais une version diminuée et suffisante de son argument : les tropes sont des objets de notre expérience, et donc l'existence des particuliers abstraits est donnée dans certaines expériences.

Il faut ajouter à cela un argument de (Campbell, 1981). Selon lui, les tropes jouent un rôle indispensable dans les relations de causalité. Il arrive que dans une relation causale, une « chose étant dans une certaine condition » (et non un événement) soit impliquée comme cause ou bien comme effet. Par exemple, ce câble en étant faible est la cause d'un événement dramatique, quand il se brise et que tombe la nacelle. La condition dans laquelle se trouve le câble relève peut-être d'une propriété générale, la « faiblesse ». Mais dans la relation causale particulière, c'est l'occurrence de la propriété qui est en jeu, et apparaît comme la cause particulière d'un effet particulier. Autrement dit, les causes particulières semblent indispensables pour comprendre certains processus causaux, et ces causes qui sont des cas particuliers d'une condition générale, sont des tropes.

Cet argument est différent de celui de Williams, en ce qu'il fait appel à la causalité, mais a la même fin que le précédent, à savoir justifier le postulat de l'existence de particuliers abstraits. Mais surtout, il peut faire l'objet de la même réponse. Armstrong répondait que ce que Williams appelle tropes, dans ces exemples, sont précisément les états de choses dont il défend l'existence (Armstrong, 1978a, Chap. 8, I). Et l'on peut, sur le même principe, rétorquer à Campbell que ce qu'il appelle tropes dans les processus causaux sont exactement des instanciations d'universaux (les propriétés impliquées

dans la loi de la nature en jeu dans le processus). Quelle est alors la différence entre les tropes et les états de choses ?

Premièrement, le trope est simple, alors que l'état de choses est composé. Un état de choses, c'est un particulier instanciant un universel. La rougeur de la balle, c'est cette balle instanciant l'universel du rouge. Et cette rougeur particulière de la balle ? C'est l'état de choses « cette balle étant rouge ». L'état de choses est complexe et s'analyse en un particulier et une propriété non-particulière, connectés dans ce fait particulier ; alors que le trope n'est qu'une entité simple : une occurrence de propriété. Sur un plan uniquement ontologique, un partisan des tropes pourrait répondre assez facilement qu'il n'est pas besoin de postuler la combinaison de deux entités différentes (le particulier et l'universel) lorsqu'on peut rendre compte de ce que nous expérimentons et disons avec une seule entité, le trope (c'est la ligne d'argument de Campbell en faveur d'une « *one category ontology* »).

Mais il y a une seconde différence, qu'il est important de noter pour la suite. L'état de choses F(a) est « quelque chose en plus » du particulier a. Il est très important pour Armstrong qu'il y ait cette distinction entre le particulier a et l'état de choses particulier F(a) : F(a) ajoute quelque chose à a : *le fait* qu'il instancie F. Le particulier a est « fin », pour Armstrong, c'est-à-dire que s'il pouvait être pris séparément des propriétés qu'il instancie, il serait nu et sans qualités. Par conséquent, l'état de choses F(a) est un particulier qui s'ajoute au particulier a : c'est le fait particulier que le particulier a instancie l'universel F. Au contraire, dans la théorie des tropes, les occurrences de propriétés ne sont que les aspects abstraits des particuliers. Leurs instanciations par les particuliers ne sont pas des faits qui s'ajoutent à l'existence de ces particuliers ; au contraire, le trope est dépendant du particulier concret car il en est un aspect abstrait.

Au terme de cette brève discussion, aucun des arguments en faveur de l'existence des tropes ne paraît décisif, mais les objections formulées par Armstrong ne permettent pas non plus. De les rejeter. La théorie des tropes et la théorie des états de choses se présentent bien plutôt comme deux conceptions pour l'instant également recevables du fait particulier « a étant F ».

2.3.La critique de la ressemblance exacte.

Les critiques que nous allons maintenant formuler sont armstrongiennes dans l'esprit, mais se développent en réalité dans le cadre du problème métaphysique posé dans la section précédente. Nous allons nous fonder sur une autre attaque d'Armstrong, qui porte directement sur la notion de ressemblance exacte, en essayant de la rendre plus percutante. Ensuite, nous verrons que cette première attaque redonne également de la force à l'objection par les états de choses que nous venons brièvement d'exposer.

2.3.1. La critique par Armstrong de la ressemblance exacte.

Armstrong avance un nouvel et intéressant argument contre la ressemblance exacte entre tropes (Armstrong, 1989, p. 103). Il ne prétend plus qu'une telle relation repose au niveau des tropes le problème qui se posait entre les particuliers concrets. Il nie désormais, et plus fondamentalement, qu'une telle relation exacte puisse s'installer entre deux tropes *distincts*.

Il admet que deux particuliers concrets, individuels, puissent se ressembler exactement, si on accorde que le Principe d'Identité des Indiscernables n'est pas une vérité nécessaire : il faut et suffit qu'ils se ressemblent exactement sous tous leurs aspects. Il est donc possible que deux choses concrètes existent, *se ressemblent parfaitement et restent deux*. Poussée à la limite, jusqu'à l'exactitude, la ressemblance entre particuliers concrets n'interdit pas la distinction numérique. Mais cela ne vaut pour Armstrong qu'au niveau des particuliers concrets. En revanche, quand on pousse à la limite la ressemblance entre propriétés, « *two become one* ». Si tel est le cas, alors il n'est plus possible que deux tropes entrent dans une relation de ressemblance exacte tout en restant *deux*, c'est-à-dire tout en demeurant des tropes, des particuliers distincts.

La manœuvre est excellente, mais la façon dont Armstrong étaie cet argument l'est moins. En effet, il commence par présupposer que la ressemblance partielle entre deux propriétés s'analyse comment une « identité » entre leurs parties. Par exemple, dire que les deux rotondités de ces deux balles, de tailles différentes, se ressemblent partiellement, revient pour Armstrong à dire que les deux rotondités ont des parties (les parties courbées de la sphère) « identiques ». Ou encore, dire que les deux balles ont deux rouges ressemblant, c'est en réalité dire que leurs rouges ont des aspects uniques en commun. Dans l'un et l'autre cas, deux propriétés se ressemblent quand elles sont partiellement les « mêmes » constituants. Et plus elles se ressemblent, plus leurs constituants sont « identiques » : à la limite, dans une ressemblance exacte, elles sont identiquement constituées, donc sont une seule et unique entité. Armstrong applique ensuite cette analyse de la ressemblance entre propriétés au cas des tropes, qui ne sont pas des particuliers concrets. Par conséquent, deux tropes ne pourraient pas se ressembler exactement tout en restant distincts.

Nous avons des raisons de craindre une pétition de principe dans cette argumentation, puisqu'Armstrong présuppose que la ressemblance des constituants des propriétés qui se ressemblent est aussi une identité numérique stricte. Tous les termes que nous avons mis entre guillemets dans le paragraphe précédent sont ambigus : si les parties des propriétés ou tropes ressemblants sont à leur tour prises comme des tropes, qui peuvent être exactement similaires et numériquement distincts, alors l'argument échoue. On n'aura plus, à tous les ordres, que des propriétés exactement ressemblantes. Mais si, suivant le présupposé d'Armstrong, ces parties ou propriétés ne peuvent se ressembler sans être numériquement identiques, alors on présuppose à un ordre supérieur ce qu'il faut démontrer à l'ordre inférieur.

En réalité, le seul argument valable doit affirmer qu'il est dans la nature même des propriétés (contrairement aux particuliers concrets) de *ne pouvoir se ressembler exactement sans se confondre en une seule entité*. L'identité des propriétés ou parties abstraites des particuliers concrets ne peut pas être que qualitative, mais doit aussi être numérique et stricte : voici ce qu'il faut frontalement justifier.

2.3.2. Notre critique de la ressemblance exacte.

L'argument que nous proposons contre la possibilité d'une *distinction solo numero* entre tropes exactement ressemblants fonctionne par élimination des différents vecteurs de particularisation. Imaginons deux balles qui sont exactement de la même couleur, ou plutôt, dont les tropes de couleurs sont exactement ressemblants, bien que distincts. Cette distinction est ce qui nous permet de les considérer comme des *particuliers*. Mais comment rendre compte de cette distinction des tropes ? Quel est le vecteur de la particularisation des tropes, qui fait qu'ils sont des particuliers distincts les uns des autres, fussent-il qualitativement les mêmes ? On distingue dans la littérature *trois* moyens que pourraient avoir les tropes de se distinguer mutuellement : par les différents particuliers concrets auxquels ils appartiennent, par leurs localisations spatiotemporelles, ou enfin par une particularité primitive[15]. Nous allons montrer qu'aucune de ces trois conceptions de la particularisation et de la distinction des tropes ne convient.

2.3.2.1.La distinction par les particuliers concrets.

Évacuons tout de suite la distinction des tropes par les différents particuliers concrets auxquels ils appartiennent (ce qu'on appelle parfois dans la littérature « distinction par l'objet » (Maurin, 2018)). D'une part, cette idée est dans l'esprit étrangère à la théorie des tropes, qui tendrait plutôt à considérer les particuliers concrets comme des faisceaux de tropes. Mais quelle que soit la théorie du particulier concret que propose le tenant des tropes, tout l'intérêt des tropes vient de ce qu'ils ne tirent pas leur particularité des particuliers fins dans lesquels ils sont présents. D'autre part et surtout, faire de la possession par un particulier concret le vecteur de distinction des tropes nous reconduirait directement aux états de choses, c'est-à-dire à cette ontologie à deux catégories (les particuliers concrets et les propriétés) que le partisan des tropes refuse (Campbell, 1990, p. 68). Si ce n'était qu'en tant que possédé par *cette* balle plutôt que par cette autre, que la rougeur est *cette* rougeur, alors ce que nous appellerions « tropes » serait un état de choses : « *cette* balle étant rouge ». Ces aspects des choses ne seraient plusieurs q*u'attribués à ces choses concrètes* ; leur mode de particularisation serait exactement celui des états de choses. La catégorie de trope n'aurait donc plus aucun intérêt intrinsèque.

---

[15] Voir (Campbell, 1990) et (Maurin, 2018).

2.3.2.2.La distinction par les localisations spatio-temporelles.

La deuxième possibilité est la plus intuitive lorsqu'on veut rendre compte de la particularité, mais peut-être aussi la plus trompeuse. Deux tropes exactement similaires pourraient être distincts *par leurs positions dans l'espace-temps* (ou par leurs coordonnées spatiotemporelles dans le cours de notre expérience perceptive, si l'on pense comme Williams que les tropes sont les objets premiers de la perception). L'aspect rouge de cette balle et l'aspect rouge de cette autre balle sont deux, parce qu'ils sont séparés dans l'espace et le temps. Autrement dit, leurs particularités distinctes viennent de leurs localisations spatiotemporelles distinctes. Mais il faut bien mesurer ce qu'implique le geste de faire entrer la localisation spatiotemporelle dans la définition de la particularité d'un trope : cela veut dire qu'un trope possède son emplacement dans l'espace et le temps de façon *essentielle*. Non pas le fait d'avoir *un* emplacement dont l'identité précise serait accidentelle, car cela n'empêcherait pas que deux tropes exactement ressemblants aient le même et donc ne soient plus distincts selon ce critère. Non, un trope est *essentiellement là où il est*, au sens où s'il était ailleurs, il ne serait pas le même trope ; il serait tout simplement cet autre trope, *partiellement* ressemblant, différent par la localisation.

Ainsi, si ce que nous disons est vrai, alors nous ne pouvons plus avoir deux tropes exactement ressemblants, justement parce que l'un possède la propriété d'être localisé ici, l'autre d'être localisé ailleurs. Maintenant qu'ils ont leur emplacement dans l'espace-temps comme quelque chose qui est essentiel à leur distinction, alors la magie de la ressemblance exacte ne peut plus opérer : soit qu'il faille dorénavant tenir ces tropes pour des entités non plus simples mais complexes (puisqu'elles auraient à leur tour des propriétés – ici de localisation), soit que leur différence de localisation implique tout simplement que leur ressemblance ne soit plus exacte, mais seulement partielle, *abstraction* faite de ladite localisation. Dans un cas comme dans l'autre, nous perdons cette relation de ressemblance exacte entre entités abstraites et simples, parce que deux tropes individués par leurs localisations spatiotemporelles diffèrent précisément par ce qui les distingue.

2.3.2.3.La distinction par la particularité primitive.

La dernière solution consiste à conférer aux tropes une particularité primitive, inanalysable ; et elle semble appelée par ce qui précède : comme les individus particuliers et concrets, les tropes sont situés dans l'espace-temps, mais ces déterminations spatiotemporelles sont des caractéristiques accidentelles et non essentielles de distinction. Autrement dit, un trope, comme un individu concret, pourrait être déplacé dans l'espace et le temps sans cesser d'être le trope qu'il est. Plus généralement, conférer aux tropes une particularité primitive est certainement l'option qui est, comme par défaut et implicitement, adoptée dans la littérature. C'est presque compris dans l'effort qui nous est demandé par

les concepteurs des tropes, au moment d'abandonner le schéma traditionnel de la propriété particularisée par son instanciation dans un particulier. Voici par exemple ce que Campbell écrit :

> Voici quel est l'objet du litige : si les substances en sont capables, pourquoi pas les tropes ? La substance est spécialiste de la particularité : elle est introduite dans la théorie comme ce qui joue le rôle du particularisateur, et rien d'autre. Mais cette idée que la substance est le spécialiste de la particularisation n'a aucune pertinence. Les tropes sont des particuliers, mais ne sont pas des particuliers nus. Leur rôle est double : être des *natures* qui sont *particulières*. Pourtant, rien ne prouve que le particularisateur doive être un spécialiste pour remplir son rôle en dehors du cadre de l'espace-temps. Si les substances peuvent être des particuliers non-spatiotemporels, alors les tropes aussi. (Campbell, 1990, p. 58)

Retenons donc la façon dont Campbell caractérise la particularité primitive des tropes, en l'alignant sur cette capacité des « substances » (c'est-à-dire des particuliers concrets) à se distinguer des autres par elles-mêmes et non par leur localisation spatiotemporelle. Les tropes devraient jouir de ce privilège autrefois accordé aux seuls particuliers concrets, qui existent de façon distincte et par eux-mêmes, séparément des propriétés qui caractérisent leur nature. Or, comme les tropes sont aussi des occurrences de propriétés, elles jouissent aussi du privilège des propriétés, celui d'être d'une certaine nature. Ainsi conçues, les tropes correspondraient à une catégorie ontologique jouissant du double privilège d'avoir par soi une existence distincte et particulière, et d'être une nature qualitative déterminée. C'est ce statut rêvé d'une entité qui est une *nature qualitative particulière et simple* que nous contestons maintenant.

En effet, imaginez que les deux rougeurs exactement ressemblantes de ces deux balles existent distinctement l'une de l'autre, de façon primitive. Elles se distinguent *solo numero*, et leur particularité primitive leur permet d'être deux. Or, pour commencer, nous en faisons ainsi des *individus*. Ensuite, deux problèmes surgissent une fois qu'on reconnaît aux tropes une individualité : il devient très difficile de leur maintenir un caractère *abstrait* ; et même si l'on parvenait à concevoir encore leur abstraction, les tropes hériteraient alors de toutes les difficultés draguées par la métaphysique des individus qualitativement identiques.

Pour commencer, reconnaissons à ces tropes une individualité, s'ils peuvent compter pour deux tout en étant identiques en nature. La possibilité de la *distinctio solo numero* est traditionnellement l'apanage des individus, et c'est de ce privilège de l'individualité que les tropes veulent défaire les antiques « substances », dans le vocabulaire de Campbell. En ce sens, le partisan des tropes refuse de restreindre l'individualité aux particuliers concrets. Si on le suit, les propriétés instanciées sont donc elles-mêmes des particuliers individuels.

Le tenant des tropes se trouve alors à un carrefour : soit il maintient que tout individuels qu'ils soient, les tropes doivent rester des aspect abstraits des particuliers concrets ; soit il admet que

l'individualité des particuliers implique leur concrétude. Pour notre part, nous ne voyons pas en quel sens un existant particulier et individuel pourrait être conçu comme « abstrait », tant il semble que par définition un individu (quand on parle d'un *étant* individuel, et non pas un individu logique comme un nombre) est un particulier *concret*. C'est manifestement la conclusion qu'en tire Simons, qui propose ainsi une définition hétérodoxe des tropes comme des « particuliers *concrets* dépendants » (Simons, 1994). La différence entre les propriétés (tropes) et les objets qui les possèdent se situe alors dans cette relation de dépendance : les tropes, bien que concrets comme les objets complets, *dépendent* des objets complets, qui sont eux des « particuliers concrets indépendants ».

Or cette redéfinition des tropes comme individus dépendants pose deux problèmes. D'une part, la relation de dépendance entre propriétés et objets complets ou individus indépendants devient *une relation entre individus concrets* ; et en tant que telle, elle ne peut plus être simplement *admise* mais est quelque chose dont il faut rendre compte. Quand nous avions des particuliers concrets et des particuliers abstraits, la dépendance était une suite de la différence concret/abstrait : ce qui est abstrait ne peut pas exister séparément du concret dont il est abstrait. Mais sans cette différence, la dépendance s'installe entre les deux particuliers concrets sans qu'on ne sache plus pourquoi. Ainsi conçue, une relation de dépendance serait alors plutôt un fait à établir empiriquement par les sciences concernées, qu'un lien ontologique qu'on pourrait postuler *a priori*.

D'autre part, il nous semble que si les propriétés sont des particuliers concrets, alors elles perdent le privilège de la simplicité. Elles peuvent être composées de constituants plus simples, et leur relation de ressemblance, fût-elle exacte, n'est plus inanalysable mais doit s'analyser comme une relation de ressemblance entre parties ou propriétés d'ordre supérieur. Cela valait au niveau des particuliers concrets (de premier ordre), cela doit valoir entre particuliers concrets (de second ordre). Et dans ce cas, la toute première objection d'Armstrong vaut pleinement : la difficulté posée par l'analyse de la ressemblance n'est que repoussée d'un cran, et non résolue par les tropes.

Si l'on veut conserver les tropes dans l'esprit original, ils sont mieux conçus comme *particuliers abstraits*, plutôt que comme *individus dépendants*. Mais si leur défenseur continue de leur conférer une individualité primitive, il doit nous expliquer ce qu'est un « individu abstrait » ou un « individu incomplet ». De plus, quand bien même on trouvait un sens clair à cette expression, il n'est pas certain que la théorie des tropes en sortirait tout à fait victorieuse, car elle hériterait alors des difficultés qui incombent à toute métaphysique des individus qualitativement identiques, c'est-à-dire indiscernables.

Armstrong ne s'y est pas trompé, qui soulève l'objection de l'échange de tropes (« swapping of tropes » (Armstrong, 1989, p. 131)). Si les deux tropes étaient des individus que rien de qualitatif ne distingue, alors il serait possible de les échanger sans que rien ne changeât dans la situation ni dans ce que sont les choses de la situation. Il y aurait un monde possible où la rougeur de cette balle et la rougeur de cette autre sont échangées, et qui serait pourtant qualitativement indiscernable du nôtre. C'est une conséquence généralement reconnue comme indésirable, et Campbell doit en particulier s'y plier. Il

admet la possibilité que les deux tropes identiques en nature soient intervertis sans que rien de qualitatif ne change dans le monde. Mais il ajoute que l'échange entre deux individus différents implique tout de même une différence interindividuelle (*difference of individuation*). Si les différences entre individus ne sont pas discernables, ce n'est plus pour lui qu'un problème épistémologique et non ontologique.

Concluons. Nous pensons qu'il est impossible de concevoir clairement la distinction numérique de tropes rigoureusement identiques en nature, parce que cette distinction apparaît comme le privilège des individus concrets. Si nous rendons compte de leur distinction par les individus concrets qui les possèdent, alors nous les transformons en états de choses. Si nous les distinguons en faisant entrer les différences de localisations spatiotemporelles dans leur essence, alors nous rompons leur ressemblance exacte. La seule solution semble être de faire des tropes eux-mêmes des individus concrets (ou « abstraits » dans le sens qu'on aura pu bricoler), ce qui les place sous le coup des critiques liées à leur indiscernabilité. Campbell maintient une voie de sortie en proposant ses « différences d'individuation » ; nous en parlerons plus longuement quand nous aborderons pour elle-même la question de la diversité numérique des *individus* (chapitre III, section 4.). Contentons-nous de dire ici que, pour une analyse des propriétés, la théorie des tropes s'éloigne bien de ses objectifs premiers si elle est conduite à faire des propriétés des formes d'individus dépendants.

2.4.Les particuliers dispersés et la défaite de la particularité.

On voit combien il est difficile de penser le mode d'être des propriétés génériques, qui seraient en mesure de rendre vraies les attributions d'un même prédicat (générique) à des particuliers distincts. Les tropes, premiers candidats, échouent à être divers et exactement ressemblants, et donc à satisfaire à la fois la condition de particularité et la condition de généricité. Se ressembler exactement, tout en demeurant distinctes, c'était cesser d'être des propriétés pour devenir des individus. Or il ne semble pas conforme à la théorie des tropes d'en faire des individus.

Par conséquent, si un partisan des tropes échoue à fonder la distinction numérique des particuliers abstraits qualitativement identiques, il devrait alors renoncer à cette distinction et faire d'une classe de tropes identiques un seul et même particulier. Poussée à bout, la théorie des tropes doit aboutir selon notre analyse à une théorie du trope comme *particulier dispersé* (*scattered particular*) : parmi tous les *concreta* qui sont F, se distribue un seul et même particulier 'F'. Par exemple, on peut véridiquement dire de divers particuliers concrets qu'ils sont rouges parce qu'il existe un seul et même objet particulier qui est présent dans tous, le particulier 'rougeur'.

Cet objet reste bien un particulier, et ne doit pas être confondu avec un universel. Une propriété conçue comme universel n'existe particulièrement qu'en étant instanciée par un particulier concret. Parmi les défenseurs des universaux, les platoniciens pensent même qu'il peut y avoir des universaux non-instanciés. Mais que l'on soit platonicien ou non, il est clair qu'il est dans la nature d'un universel

de pouvoir être plus ou moins instancié, sans que le nombre plus ou moins grand de ses instances ne change quoi que ce soit à ce qu'il est[16]. Un particulier dispersé, au contraire, correspond à un nombre bien défini d'occurrences dans des particuliers concrets. Il *est* ces occurrences dispersées, mais il n'est simplement pas distingué en plusieurs particuliers par ces occurrences spatio-temporellement distinctes. Il est un seul et unique *abstractum* qui apparaît plusieurs fois, et donc à chaque fois *partiellement*, dans des *concreta* distincts. Cette hypothèse ontologique de *l'abstractum* dispersé n'est absolument pas mauvaise – et à vrai dire, nous la trouvons beaucoup plus claire que l'hypothèse des universaux qui sont *entièrement* eux-mêmes dans chacune de leurs instanciations[17]. Mais c'est comme solution au problème des propriétés génériques que cette hypothèse ne fonctionne pas.

Cette hypothèse du particulier dispersé viole en effet la condition de particularité. Nous cherchons à concevoir ontologiquement les vérifacteurs des attributions de F aux particuliers a, b, c, etc. Or si nous identifions ces vérifacteurs à un unique objet, le trope F dispersé dans tous ces particuliers concrets, alors nous nous retrouvons dans une situation de défaite flagrante de la particularité. Dans les *concreta* a, b ou c, c'est toujours le même et unique particulier F qui est partiellement présent, sans que rien de particulier et distinct impliquant les divers a, b et c n'entre en jeu. Si c'est la présence de F qui rend à chaque fois vrais les énoncés F(a), F(b), F(c), alors nous n'énonçons plus des vérités particulières à propos de a, b ou c, mais nous énonçons diversement : « F est (partiellement) là ».

La seule façon qu'aurait le trope dispersé F d'être distinctement le cas dans a, b ou c, serait que ses diverses parties ou ses diverses occurrences (dans le cas général) fussent particularisées par leur présence en a, b, ou c. La propriété générique est identique numériquement, et sa diversité ne vient que de son instanciation dans des particuliers concrets. Autrement dit, la diversité est celle des états de choses. A nouveau, nous ne réussissons à satisfaire la condition de particularité qu'en basculant dans une ontologie des états de choses, dont nous sommes maintenant poussés à entamer l'examen.

3. La fiction des états de choses : une critique d'Armstrong.

Nous abordons maintenant l'autre grande voie d'analyse des propriétés, celle des universaux et des états de choses, qui postule qu'un cas particulier d'une propriété générique, c'est *un particulier instanciant un universel*. Dans la littérature, beaucoup d'auteurs défendent l'existence des universaux, et Armstrong n'est que le plus récent de ces éminents défenseurs. S'il nous intéresse en particulier, c'est qu'il est le seul, à notre connaissance, à examiner de près ce que signifie être un cas particulier d'une

[16] Cette assertion n'est en réalité pas exacte. D'abord, la modalité contenue dans ce « pouvoir être plus ou moins instancié » n'est peut-être pas si facile et claire à analyser (MacBride, 1998) ; mais surtout, dans sa théorie tardive des universaux, à laquelle nous n'accorderons pas de place dans ce travail, Armstrong propose au contraire de compter le nombre d'instanciations d'un universel comme une caractéristique essentielle de cet universel (Armstrong, 2004, p. 56 et sq). Si nous devions discuter cette proposition, toute la question serait alors de savoir ce qui distingue un universel ainsi conçu d'un particulier dispersé.

[17] Dans le *Parménide*, Platon envisage cette hypothèse comme façon de concevoir l'instanciation des Formes (131b-d).

propriété générique, c'est-à-dire ce qu'est l'instanciation d'un universel : c'est être un état de choses. C'est pourquoi c'est au moins autant la catégorie d'état de choses que celle d'universel qui importe dans cette section.

A son égard, nous poursuivons notre travail de mise en évidence de difficultés insoupçonnées. Dans le paradigme des tropes, ce qu'on admet d'ordinaire, c'est leur *diversité* de particuliers ; et ce qu'on met en doute, c'est leur capacité, par la seule ressemblance exacte, à fonder l'application générale d'un unique terme ou prédicat. Or notre critique a révélé l'inverse : en admettant que les tropes offrent ce fondement, par leur ressemblance exacte, c'est au contraire *leur diversité* qui n'est plus évidente. Notre argument pour critiquer les états de choses procède à la même inversion. Nous allons présenter les états de choses comme la solution naturelle pour résoudre le problème, fatal aux tropes, de la distinction. Mais le prix que la théorie des états de choses doit payer pour en rendre aussi bien compte est son incapacité à concevoir qu'ils sont des cas *de la même propriété* ! Pourtant, comme les états de choses sont les instanciations d'un universel, on pourrait croire que l'existence de cet universel garantit tout de même que c'est bien *de la même propriété* que ces états de choses sont les cas particuliers. Or, comme nous allons le voir, rien n'est moins assuré qu'étant donné une diversité de choses ressemblantes, on puisse concevoir simplement qu'elles sont liées à un unique universel.

Voici donc l'horizon principal de l'argumentation que nous allons développer : étant donnés divers états de choses, considérer qu'ils sont les diverses instances d'un unique universel revient à leur prêter un *caractère abstrait* qu'ils ne peuvent pas avoir. En renonçant aux tropes, on a perdu cet avantage, et nous n'avons pas le droit de faire comme si les états de choses étaient des *aspects abstraits* de particuliers, alors *qu'ils sont ce qu'il y a de plus concret :* la concrétion ou composition *d'un particulier et d'au moins une propriété.*

3.1.La théorie des états de choses comme solution au problème des propriétés.

Nous devons donc examiner maintenant la théorie des universaux et des états de choses développée par Armstrong, et voir si elle apporte une réponse ontologique satisfaisante au problème des propriétés génériques. Dans cette théorie, il existe des entités non-particulières, les universaux, qui existent dans plusieurs choses (leurs instances) tout en étant uns et identiques à travers elles. Un état de choses, c'est un particulier (« fin », c'est-à-dire nu en lui-même[18]) instanciant un universel.

[18] Nous utilisons indifféremment « particulier nu » et « particulier fin », ce qui n'est pas rigoureux. Précisément, un particulier nu est un particulier fin dépourvu de qualités. Armstrong, par exemple, admet l'existence des particuliers fins mais pas des particuliers nus, puisqu'il pense que tout particulier fin doit être vêtu de qualités. Mais dans la littérature, l'usage s'est installé de désigner comme « particulier nu » l'individu considéré indépendamment de ses qualités et relations, sans se demander précisément s'il peut exister ainsi, ou s'il n'est qu'une abstraction.

3.1.1. Les états de choses comme solution au problème des propriétés.

À première vue, cette théorie peut résoudre aisément notre problème. Un état de choses est à son tour un fait particulier (ou comme le dit aussi Armstrong, un « particulier épais »). La particularité des états de choses satisfait immédiatement la condition de particularité. Si on identifie le vérifacteur de l'attribution de F à a à l'état de chose « a étant F » (aussi désigné par « F(a) »), et comme tout état de choses est un particulier, le vérifacteur est bien « quelque chose de particulier concernant a ». Mais comme les états de choses F(a), F(b), F(c), etc. sont les instanciations d'un *même et unique* universel F, on semble avoir les moyens de satisfaire également la condition de généricité. Le mode d'être des universaux, « *one through many* », permettrait de résoudre notre problème : ils sont tout entiers présents dans chacune de leurs instanciations distinctes et particulières.

Pourtant, ce mode d'être n'est que stipulé, et il ne fait que reconduire le problème lui-même dans une définition nominale des universaux et des états de choses. Il reste toujours à montrer que de telles entités sont possibles[19]. Armstrong a aperçu et traité les difficultés que pose l'instanciation d'un unique universel dans des particuliers divers, et spécifiquement le risque de régression vicieuse. Commençons par exposer cette menace, et les parades qu'Armstrong lui oppose. Nous verrons que pour remédier au problème de régression, Armstrong propose une théorie non-relationnelle de l'instanciation, qui y voit un fait ontologique primitif. En somme, son geste est étonnamment parallèle à celui du tenant des tropes qui posait la ressemblance entre tropes comme primitive pour éviter lui aussi une régression.

3.1.2. États de choses et (non-)analyse de l'instanciation.

Armstrong affronte le même problème que les théoriciens des tropes : comment rendre compte de la ressemblance entre les particuliers concrets, tout en conservant leur diversité de particuliers numériquement distincts ? Il refuse de tenir la relation de ressemblance pour primitive et inanalysable. Elle doit être dérivée de l'identité (numérique et stricte) entre les caractéristiques possédées par ces particuliers. Elle est donc expliquée par l'existence d'universaux qui demeurent identiques à eux-mêmes à travers leurs multiples instanciations. Cependant, les universaux existent-ils indépendamment de leurs instances (*ante rem*) ou seulement dans leurs instances (*in rebus*) ? Les universaux sont-ils transcendants, ou bien n'existent-ils qu'instanciés (immanents) ? Armstrong est tenant de la seconde position, et pense qu'il n'est pas d'universel sans instance. Mais que dit précisément la première ?

---

[19] Nous utilisons ici la différence entre définition nominale et définition réelle thématisée par Leibniz (*cf* par exemple *Discours de métaphysique*, art. 24), comme l'un des garde-fous les plus importants en métaphysique, tant la tentation y est grande de croire résoudre des problèmes (redoutables) en postulant certaines entités. Or, comme c'est le cas avec ces universaux, le problème conceptuel (comment concevoir leur mode d'être ?) qu'ils sont censés résoudre est reconduit en tant que problème existentiel : ces entités peuvent-elles exister, et comment ? A notre connaissance, nulle part Armstrong ne se demande si les universaux sont *possibles*.

En tant que réalisme, la thèse des universaux transcendants rend compte des ressemblances entre les particuliers a, b, c, etc. qui sont F, en postulant l'existence de l'universel F unique et indépendant de ses instances. Non seulement F est réel, mais il pourrait exister même sans instance. On considère généralement cette position comme « platonicienne », dans la mesure où elle situe les universaux dans un « autre monde » que celui, spatiotemporel, des particuliers. Mais l'essentiel de cette position tient dans la capacité des universaux à mener une existence séparée de leurs instances. Or ce qui est séparé doit pouvoir être relié ! Selon cette position, l'instanciation d'une propriété F dans une chose comme a est donc une certaine *relation* entre l'universel F et le particulier a. Nommons cette relation I, pour 'Instanciation' ; lorsque a est F, on a I(a,F). C'est en ce point qu'on peut brandir, avec Armstrong, le risque régression vicieuse qui frappe la relation d'instanciation.

En effet, I est le cas entre l'universel F et tous les autres particuliers, b, c, etc. qui ressemblent à a. Donc chaque instance de F est un cas particulier de I entre le particulier et l'universel F. Toutes ces relations particulières d'instanciation se ressemblent. Pour rendre compte de cette ressemblance, il faut donc admettre que la relation I est un nouvel universel. Or, séparé de ces instances, comment est-il à son tour relié à elles, sinon par une nouvelle relation I' ? Si I' est bel et bien différente de I, alors la régression est amorcée ; pour rendre compte de l'instanciation d'I' dans tous les cas où I relie F à ses instances, il faudra postuler un nouvel universel relationnel I'', etc. Si I' est identique à I, alors selon Armstrong l'analyse est circulaire, puisqu'il faut faire appel à l'universel I pour analyser l'universel I[20].

Selon Armstrong, pour éviter cette régression, il faut concevoir les universaux comme des entités immanentes à leurs instances (et non plus transcendantes), et prendre garde de ne pas reconduire, au sein d'une doctrine immanentiste, l'analyse relationnelle de l'instanciation. Il faut proposer une théorie immanentiste non-relationnelle de l'instanciation des universaux dans les choses particulières. C'est pourquoi chez Armstrong le principe qui interdit l'existence de tout universel non-instancié (Principe d'instanciation) n'est pas simplement le refus des universaux transcendants, mais une thèse positive sur le mode d'être des universaux dans les choses : ils sont des aspects *abstraits* des choses concrètes. « Abstrait » signifie ici exactement la même chose que dans le cas des tropes ou « particuliers *abstraits* » : les universaux n'existent que comme aspects des particuliers, qui ne peuvent pas exister séparément d'eux.

À ce « Principe d'Instanciation », qui nie l'existence d'universaux non-instanciés, il associe le « Principe d'exclusion des particuliers nus », rigoureusement complémentaire. Pas plus qu'il n'y a d'universaux sans instances, il n'y a de particulier qui ne soit l'instance d'un moins un universel. Armstrong parle aussi, pour désigner ces états de choses, de « particuliers épais », composés de particuliers fins ou nus, et d'universaux. Ces deux principes peuvent se résumer en une seule formule : la catégorie ontologique des états de choses est primitive par rapport aux catégories d'universel et de

[20] Voir pour la présentation et l'analyse de la régression (Armstrong, 1978a, p. 69 et sq) et (Armstrong, 1989, pp. 69-70).

particulier (fin ou nu), qui sont dérivées. « Le monde, primitivement, est un monde d'états de choses », voici donc le slogan qu'un partisan d'Armstrong pourrait opposer à la position tropiste ; ou encore, les états de choses sont, pour reprendre l'expression de Williams, le véritable « alphabet de l'être », et particuliers (fins ou nus) et universaux n'en sont que des aspects abstraits.

On a pu demander si cette idée d'un lien non-relationnel (*non-relational tie*) avait une quelconque consistance (Devitt, 1980), et ne recouvrait pas l'inverse d'une solution : soit une contradiction dans les termes, soit une obscure spéculation sur la nature de la composition. Les choses nous semblent plus simples en réalité : Armstrong propose de voir l'instanciation comme un *fait primitif,* synonyme de *l'existence des états de choses*, c'est-à-dire du fait qu'il n'y a dans le monde ni particulier nu ni universaux non-instanciés. De cette manière, Armstrong pense pouvoir éviter la régression de l'instanciation, dans la mesure où il n'aurait plus besoin de « colle » ontologique pour lier un universel avec un particulier. L'instanciation n'est pas une relation, mais la composition primitive d'un fait dont on n'a donc pas à rendre compte.

En posant le caractère primitif des états de choses, Armstrong pense avoir trouvé la parade contre les objections ontologiques adressées à l'instanciation. Or, derrière le problème de la régression, ce qui est en jeu est la conception du mode d'être des universaux dans les particuliers qui en sont des cas : comment les universaux peuvent-ils être « *one through many* » ? Mais ce n'est pas parce qu'on proclame l'universel *primitivement in rebus* que l'on répond à la question du statut de l'universel dans ces choses, car même en admettant qu'un universel ne soit qu'un aspect abstrait de ses instances, le problème demeure de savoir si, dans ces instances, il existe *qua universum* ou bien en tant que particulier (c'est-à-dire comme trope). C'est ce problème que nous allons explorer maintenant, en montrant qu'il est engendré par l'application de nos deux conditions vérifactionnelles à sa théorie des états de choses. Par souci de symétrie, nous formulerons ce problème dans les termes d'une régression.

3.2. Critique de la théorie armstrongienne des états de choses.

Nous devons revenir de la pure ontologie au problème premier, qui l'avait appelée, celui du fondement de la vérité des énoncés qui attribuent des prédicats génériques à divers particuliers. La théorie de l'instanciation d'un universel dans un particulier est une analyse du fondement de cette vérité : c'est parce qu'il y a cette instanciation de l'universel dans le particulier (ou ces particuliers), que l'attribution à ce particulier (ou les attributions à ces particuliers) du prédicat correspondant à cet universel, est vraie (ou sont vraies). L'état de choses « a étant F », c'est-à-dire « l'instanciation de F en a », est donc le vérifacteur de cette attribution. Voyons donc si, replacée dans ce cadre et cet enjeu, la théorie d'Armstrong résout bien notre problème, ou si au contraire elle ne doit pas à son tour affronter des difficultés ironiquement similaires à celles qu'elle devait permettre d'éviter. Le postulat de la

primitivité ontologique des états de choses, examiné de notre point de vue vérifactionnel, ne soulève-t-il pas à son tour des problèmes de régression vicieuse ?

3.2.1. La primitivité des états de choses empêche de satisfaire la condition de généricité.

Soit, donc, l'état de choses « a étant F », dénoté par « F(a) », qui est le vérifacteur de l'énoncé F(a) (« a est F »). En vertu de ce qu'Armstrong appelle la « victoire de la particularité », l'état de choses « F(a) » est un particulier. Ainsi, la *condition de particularité* est satisfaite, puisque ce qui rend vrai l'énoncé F(a), c'est « quelque chose de a » et de particulier.

Toutefois, à côté de cet état de choses, on doit admettre aussi F(b), F(c), etc. puisqu'on peut aussi affirmer véridiquement que b est F, que c est F, etc. Ces autres états de choses sont les vérifacteurs particuliers de ces autres énoncés. La distinction numérique des faits F(a), F(b), F(c), etc., c'est-à-dire ce qui en fait des faits particuliers, vient de la particularité et de la distinction de a, b, et c, données au préalable. Mais ces divers vérifacteurs ont-ils quelque chose en commun, pour satisfaire la condition de généricité ?

Il nous vient immédiatement à l'esprit de répondre qu'évidemment, ils ont en commun l'universel F ! Devant ces multiples faits, ne sommes-nous pas devant une ressemblance qui est bien analysée par *la présence en tous du même et unique universel, F* ? Mais cette réponse serait tout simplement fausse dans le cadre posé par Armstrong, car elle reviendrait à abandonner la primitivité de l'instanciation ; elle n'est pas compatible avec le caractère primitif des états de choses.

En effet, avoir en commun un universel F avec d'autres particuliers, c'est « être F » comme eux. Or ce sont les particuliers a, b, c, etc., qui sont F, et non les états de choses F(a), F(b), F(c), etc. Ce sont précisément les faits que a, b, c se ressemblent et ont la propriété F en commun, que l'on analyse ontologiquement comme des états de choses F(a), F(b), F(c), etc. On postule donc la primitivité de ces états de choses pour rendre compte de la ressemblance entre a, b, et c, etc., et de ce qu'ils ont en commun. Or, si maintenant on dit que ce sont *les vérifacteurs* des énoncés F(a), F(b), F(c), etc. qui ont en commun d'être F, alors on les analyse et on abandonne leur caractère d'états de choses primitifs. On se retrouve à nouveau avec les particulier (fins) a, b et c et l'universel F pour catégories ontologiques primitives. On aura alors tout le mal du monde à éviter les problèmes de régression qui frappent la relation d'instanciation.

En effet, si l'on abandonne la primitivité de l'instanciation et de l'état de choses, voici comment se profile la régression qu'Armstrong voulait éviter. Certes, si l'on est vraiment tenté de penser que ce qu'il y a de commun aux vérifacteurs de toutes les attributions du prédicat F aux particuliers a, b, c etc., qui sont F, c'est la présence de F, alors on satisfait *ispo facto* la condition de généricité. Il faut avouer que l'universel remplit parfaitement ce rôle ; il est un peu, pour reprendre les termes de Campbell, le « spécialiste » du générique. Mais pour satisfaire la condition de particularité, il faut que pour chaque

attribution particulière, le vérifacteur soit aussi « quelque chose du particulier » en question. Il faut donc que ce qui rende vrai l'énoncé F(a), ce soit la présence de F *en a*, que ce qui rende vrai l'énoncé F(b), ce soit la présence de F *en b,* etc. Si tel n'était pas le cas, on ne dirait rien de particulier. On ne ferait que dire, devant a, comme devant b, comme devant c : « F ». Il se produirait ce ratage de l'instanciation qu'on appelait, par souci de symétrie, *défaite de la particularité*. Or, ces termes-ci, « la présence de F *en a* », « la présence de F *en b* », « la présence de F *en c* », désignent précisément des faits d'instanciation qu'on ne pourrait plus tenir pour primitifs. Il faudrait rendre compte de ce lien, qui a tout l'air relationnel, qu'on dénote par « la présence de . en . ». On devrait donc postuler un nouvel universel, dont les diverses « présences de . en . » sont les instances. On mettrait alors bien le doigt dans l'engrenage fatal d'une régression, qui repousserait toujours la particularisation de F en a, b, c, etc. La condition de particularité ne serait donc pas satisfaite, si l'on abandonnait la primitivité de l'instanciation.

Il nous semble donc impossible de maintenir les états de choses F(a), F(b), F(c), etc. comme des faits primitifs (satisfaisant ainsi la condition de particularité), et de dire que ce qu'ils ont en commun, c'est l'universel F. Soit on abandonne la primitivité des états de choses, et on tombe dans la régression classique, bien vue par Armstrong, qui est un ratage indéfini de l'instanciation, soit on maintient la primitivité de l'instanciation. Ce que nous allons montrer maintenant, c'est qu'en faisant cela, Armstrong donne le jour à un nouveau type de régression, tout aussi vicieuse. Mais avant d'y arriver, nous devons expliquer la notion de « type d'état de choses », et pourquoi elle prend une importance croissante dans l'œuvre d'Armstrong.

3.2.2. La notion de « types d'états de choses » chez Armstrong.

L'armstrongien, fidèle au geste original du maître, fait en effet mieux de maintenir la primitivité des états de choses : l'instanciation de F par a est tenue pour un fait particulier non analysable. Il est donc confronté au même problème que lorsqu'il fallait rendre compte de la ressemblance entre les différents particuliers qui sont F, mais un ordre au-dessus. Désormais, il faut rendre compte de la ressemblance entre les divers faits (particuliers) de *particuliers étant F*, c'est-à-dire entre les états de choses F(a), F(b), F(c), etc., en montrant que, *pour chaque* particulier qui est F, *c'est la même instanciation de F qui est le cas*. En un mot, il lui faut postuler un nouvel universel : « instanciation de F », distinct de l'universel F. Or il existe dans la théorie d'Armstrong la notion de « types d'états de choses », qui est susceptible d'apporter une solution.

3.2.2.1.États de choses et types d'états de choses.

Armstrong la développe d'abord comme un aspect tout à fait mineur et local de sa théorie, qui prend progressivement de l'importance, en réponse aux critiques que nous allons passer en revue, jusqu'à prendre une importance considérable dans (Armstrong, 1997) où on lit que *tous* « les universaux sont des types d'états de choses » (p. 28). Or la notion de « type d'état de choses » doit jouer, selon nous, un grand rôle dans sa doctrine de l'instanciation, pour tenter d'éviter la régression.

Qu'est-ce qu'un « type d'états de choses » ? A notre connaissance, Armstrong utilise comme synonymes les termes « universaux », « propriétés », « types », puisqu'ils désignent la même sorte d'entités non-particulières. Bien sûr, selon les cas examinés, l'un de ces termes peut être le plus adéquat. On parle plus volontiers de « propriété » pour ce que peuvent dénoter les adjectifs de la langue ordinaire, comme « bleu » ou « lourd », ou bien les concepts scientifiques comme « masse » ou « température ». On utilise le terme « universel » pour désigner les natures plus abstraites comme la « sagesse » ou l'« humanité » ou l'« oviparité ». Mais rien, selon Armstrong, ne justifie qu'on les distingue ontologiquement. Il semble en aller de même pour la notion de « type », qui désigne la même sorte d'entités. Pourtant, elle est susceptible d'un usage non seulement différent, mais aussi fondamental pour penser l'instanciation. Différent, parce qu'elle permet de penser ces universaux si particuliers que sont les *types d'états de choses* ; fondamental, parce que la relation type-tokens pourrait être ontologiquement plus primitive que l'instanciation, qu'elle permettrait de penser.

Commençons par examiner la notion pour elle-même. Armstrong l'introduit dans (Armstrong, 1978a, p. 116). Il vient d'examiner le phénomène, qui ne cesse de l'étonner, de la « victoire de la particularité ». La composition d'un universel et d'un particulier, qu'on appelle instanciation, donne quelque chose de particulier, qu'on appelle état de choses. Donc si a est F, « a étant F » est particulier. Cependant, il est possible de former la notion de « types d'états de chose » : si « a étant F » est un état de choses particulier, alors « quelque chose (de particulier) étant F » est le type d'états de choses correspondant. Un type d'états de choses est obtenu à partir d'un état de choses, par *abstraction* du particulier qui y est impliqué. On peut donc, pour une collection de particuliers qui se ressemblent en ce qu'ils sont tous F, et donc pour la collection d'états de choses qu'ils forment avec l'universel F, concevoir un type correspondant : « quelque chose (de particulier) étant F », dont ces états de choses sont les tokens.

Il faut bien faire la différence entre l'universel F lui-même, et l'universel « quelque chose (de particulier) étant F », qui est le type dont les instanciations de F sont les tokens. Les particuliers qui les instancient ne sont pas du même ordre : F s'instancie dans les particuliers de *premier* ordre a, b, c, etc., tandis que le type correspondant s'instancie dans les *états de choses* particuliers F(a), F(b), F(c), etc. (particuliers de *second* ordre). Par commodité, pour un universel F donné, désignons par IF le type d'états de choses « être instance (particulières) de F ». On aurait donc tout aussi tort d'identifier IF avec

F, que de confondre l'état de choses F(a) avec a lui-même. Par exemple, soit F : « être chargé », qui est vrai du corps particulier a (un électron), et IF « être une charge particulière (dont l'expression numérique est, disons, *-1 e*) ». IF s'applique non pas à l'électron a, qui n'est pas une charge particulière, mais à l'état de choses « électron *a* chargé » c'est-à-dire « F(a) ». C'est « l'électron *a* étant chargé » qui est une charge particulière valant *-1 e*.

Quel est le rôle ontologique d'un type d'états de choses, et pourquoi Armstrong les appelle aussi les « universaux de particularisation » (*particularizing universals*) ? Il faut distinguer la façon dont Armstrong justifie leur introduction de l'usage généralisé que nous en ferons. Selon lui, la notion de type d'états de chose est nécessaire pour comprendre l'application de prédicats comme « être un homme ». Lorsqu'on dit d'un particulier qu'il est un homme, nous ne disons pas exactement qu'il est humain. On peut dire que le rire est humain, mais il serait incongru de dire que le rire est un homme. « Être *un* homme » implique une forme de particularisation de l'humanité dénotée par le prédicat « être humain ». Armstrong poursuit :

> Ce que cela fait ressortir, c'est qu'il y a des universaux qui impliquent des particuliers d'une manière tout à fait spéciale. Car un homme est déjà un ceci-étant-cela, un particulier-ayant-certaines-propriétés, un état de choses. C'est pour cette sorte d'universaux que la notion de type d'états de choses est requise. (Armstrong, 1978a, p. 116)

Voilà donc ce que sont ces universaux un peu spéciaux : des types dont les tokens sont des instanciations d'universaux plus classiques, comme la propriété d'être humain ou d'être F. Un type peut toujours s'écrire : « être instance de l'universel F » ou, plus précisément encore, « être un état de choses formé par l'instanciation particulière de F ».

3.2.2.2.Types d'états de choses et universaux structuraux.

Les types d'états de choses sont aussi importants pour analyser les universaux structuraux. Un universel structurel est un universel complexe, composé de plusieurs universaux et de leurs relations. En 1978, Armstrong optait pour une approche méréologique du mode de composition de ces universaux structuraux, qui a été efficacement critiquée par Lewis. Soit par exemple l'universel complexe M « être une molécule de méthane », qui a pour parties trois universaux : C « être un atome de carbone », H « être un atome d'hydrogène », et la relation R qui les lie dans une molécule unique de butane (*bonding relation*). Comment rendre compte de la composition de l'universel butane, qui doit contenir d'une

manière ou d'une autre « une fois » l'universel C, « quatre fois » l'universel H et « quatre fois » l'universel R qui relie chaque universel H avec l'universel de carbone C ?[21]

(Lewis, 1986) formulait trois critiques contre la composition méréologique des universaux structuraux, où les universaux C, H et R sont vus comme les parties d'un tout qui est M. Premièrement, il n'y a qu'un seul universel H et non pas quatre. Dire que M est composé de quatre H est donc un non-sens, si cela implique que H existe quatre fois. Deuxièmement, une même chose (comme l'universel H) ne peut pas être combinée plusieurs fois avec d'autres choses pour former un complexe, puisque cela impliquerait que ce tout complexe ait plusieurs fois la même partie, ce qui est exclu par la relation méréologique partie/tout. Enfin, il y a des cas d'universaux structuraux composés des mêmes parties (comme le méthane et le butane, qui sont tous les deux composés de C, H et R), et surtout, même si on admettait qu'un universel structural puisse être composé de plusieurs fois la même partie, il y a des cas d'universaux qui ont les mêmes parties le même nombre de fois, comme le butane et l'isobutane. Le mode de composition méréologique des universaux structuraux, adopté par Armstrong, ne peut pas rendre compte de la différence entre ces deux isomères.

C'est pour répondre à ces critiques qu'Armstrong identifie un universel structural à un *type d'états de choses* complexe qui est une conjonction de types d'états de choses. Par exemple, une molécule f particulière de méthane est un composé méréologique (une conjonction) de 5 parties a, b, c, d, et e, où a, b, c, d sont H (des atomes d'hydrogène), e est C, et la relation R tient entre e et a, e et b, e et c, e et d. On a donc M(f) composé de H(a), H(b), H(c), H(d), C(e), R(e,a), R(e,b), R(e,c), R(e,d). L'universel structural M « être une molécule de méthane » est alors identifié au type dont cette conjonction d'états de choses est un token. Il est le type de cette conjonction d'états de choses, qu'on obtient à partir de cette composition dont on abstrait les particuliers a, b, c, d, e ; les différentes parties de ce type sont : « être un 1er particulier instanciant H », « être un 2nd particulier instanciant H », « être un 3ème particulier instanciant H », « être un 4ème particulier instanciant H » (Armstrong, 1993a).

Nous n'entrerons pas plus loin, ici, dans la question précise de l'analyse des universaux structuraux[22]. Elle a néanmoins poussé Armstrong, dans *A world of states of affairs*, à identifier finalement tout universel à un type d'états de choses, ce qui ne nous paraît pas acceptable sans endommager gravement l'usage vérifactionnel de la catégorie d'états de choses. L'universel F est alors en réalité identique au type « un particulier étant instance de F », et les particuliers qui instancient F sont identifiés aux tokens de ce type :

> Si un particulier a possède l'universel-propriété F, alors l'état de choses est *a étant F* (*a's being F*). Par commodité, nous continuerons de souvent désigner l'universel par la simple lettre « F ». Mais il vaut

[21] C'est la version « pictorialiste » des universaux structuraux, dans le vocabulaire de (Lewis, 1986b) qui est interrogée ici. Lewis distingue deux autre analyses, linguistique et magique, des universaux structuraux, dont nous ne parlons pas ici.
[22] On peut se reporter à un récent aperçu de la littérature sur le sujet en consultant (Fisher, 2018).

> mieux le concevoir comme _ *étant F* (_*'s being F*). De façon similaire, on a la relation _ *étant en relation R avec* _ (_*'s having R to* _). L'universel est un état de choses vidé (*gutted*). Il est tout ce qu'il reste d'un état de choses après que les aspects particuliers ont été éliminés par abstraction dans l'esprit. (Armstrong, 1997, pp. 28-29)

Autrement dit, Armstrong écraserait ici la distinction entre l'universel F « être F » et l'universel IF « être une instance de F ». Gardons en tête cette idée, car notre propre analyse des propriétés s'en inspirera beaucoup. En revanche, elle est inacceptable dans un cadre où les états de choses comme F(a) doivent servir de vérifacteurs à des attributions de prédicats à des particuliers a, b, c, comme « a est F ». Par hypothèse, c'est le particulier a est qui F, et on demande en quoi consiste, ontologiquement, le fait que a soit F, pour rendre vrai l'attribution de F à a. Si maintenant on dit que l'universel F n'est plus « être F » mais « être une instance particulière de F », alors ce n'est plus a qui est F, mais l'état de choses F(a) « a étant F ». Les états de choses F(a), F(b), F(c), ne pourraient alors plus servir de vérifacteurs des attributions de F, puisqu'ils sont ce qui primitivement *est F*. Il faudrait alors repartir sur ces nouvelles bases, et dire : qu'est-ce qui rend vraie l'attribution du même F à ces divers particuliers F(a), F(b), F(c) ? Ou bien le problème ontologique est relancé à l'identique, en considérant ces particuliers comme authentiquement divers et distincts, ou bien on déclare tout de suite la défaite de la particularité, en expliquant qu'ils ont une manifeste identité de type car ils sont tous « … étant F ».

Conservons donc bien distincts, dans le cadre de la théorie armstrongienne, l'universel F et le type d'états de choses IF, mais voyons l'usage généralisé qu'on peut faire de la notion de type d'états de choses pour tenter de solidifier la théorie armstrongienne des états de choses et de l'instanciation des universaux.

3.3.Armstrong face à un nouveau type de régression.

Pour résoudre le problème, nous devons expliquer pourquoi la particularité et la diversité des vérifacteurs des attributions de F, les faits « a étant F », « b étant F », « c étant F », ne les empêchent pas d'avoir quelque chose en commun : le type d'états de choses.

3.3.1. Une possible solution au problème des propriétés.

En effet, ne voit-on pas que tous sont des cas particuliers non pas de F, mais d'instanciation de F ? Le type d'état de choses « être instance de F » peut donc être ce qui unifie les divers vérifacteurs des attributions de F. Les états de choses F(a), F(b), F(c), etc., se ressemblent *exactement* en ceci qu'ils sont tous des cas particuliers d'instanciation de F dans des particuliers. En tant que vérifacteurs des énoncés

qui attribuent F aux *particuliers* a, b, c, etc., ils sont particuliers et divers, mais comme ils sont exactement ressemblants comme tokens de du type IF, la condition de généricité serait satisfaite.

La condition de particularité le serait-elle à son tour facilement satisfaite ? Comment est évitée, de son côté, la défaite de la particularité ? Un type d'états de choses est, suivant Armstrong, un « universel de particularisation »[23]. Cela signifie que ses tokens sont des instanciations *particulières* d'un universel. L'existence du type IF est donc de nature à garantir, par une sorte de forçage ontologique, l'instanciation de F dans une diversité de cas particuliers. F(a), F(b), F(c), etc. sont bel et bien des particuliers distincts et divers, en tant que tokens du type « instanciation *particulière* de F », et non une seule et même entité non-particulière, « F ». Ainsi la défaite de la particularité semble évitée. L'ajout du type IF à l'universel F, permettrait de satisfaire les deux conditions ensemble.

A ce point de vue, on peut remarquer que l'existence d'un type particularisant a exactement la même fonction, au sein de cette théorie des universaux, que les caractères *abstraits* et *particuliers* des tropes : garantir la diversité numérique de ce qui est exactement ressemblant. Nous disions plus haut que pour *concevoir* un type d'états de choses, il suffisait de prendre un état de choses et de l'abstraire du particulier qu'il contient. « a étant F » devient « un particulier étant F » ou « une instance particulière de F ». La différence entre un trope et un token de type d'états de choses doit néanmoins être soulignée : un trope *est* un abstrait, tandis qu'un état de choses reste, si l'on maintient la cohérence de la théorie d'Armstrong, un cas particulier *concret* dont on peut mentalement faire abstraction de la particularité. Tropes et états de choses restent donc des catégories ontologiques très différentes, et l'abstraction qui est un caractère ontologique des tropes ne désigne vis-à-vis des états de choses que la possibilité d'en séparer un aspect général par l'esprit. Mais peut-on avoir une ressemblance exacte entre des états de choses qui sont des tokens du même type d'états de choses, si ces tokens ne sont pas *littéralement* des particuliers abstraits comme des tropes ? Ce sera le nerf de la critique finale que nous adresserons à la théorie armstrongienne. Mais pour arriver à ce terminus de l'intérieur de cette théorie, nous devons la confronter au problème qu'elle est censée pouvoir résoudre : celui de la régression.

3.3.2. Le blocage apparent de la régression.

Pourtant, à première vue, un nouveau problème de régression se pose à nouveau. Nous postulons l'universel F pour rendre compte de la ressemblance entre les divers particuliers a, b, c, qui sont tous F,

---

[23] Est-ce que tout type est un universel de particularisation, ou bien seulement les types d'états de choses ? Je crois qu'Armstrong opterait pour la seconde réponse, puisqu'il ne parle des universaux de particularisation que dans son chapitre sur les types d'états de choses. Mais si nous avons raison, et que cette dernière notion est en réalité centrale dans sa théorie, cette centralité pourrait s'expliquer par ce que tout type est en réalité un type d'états de choses, et donc un universel de particularisation. On pourrait faire ressortir plus clairement qu'Armstrong a tort de prendre comme synonymes « universel » et « type », parce que la relation d'un type à ses tokens est peut-être différente et plus fondamentale que la relation d'instanciation.

mais nous avons aussi besoin d'un universel supplémentaire, IF, qui garantit que la particularisation de F (qui fait la diversité de ses instances) n'entrave pas son unicité : toutes les instances de F sont qualitativement identiques et donc exactement ressemblantes en ceci qu'elles sont des instances de F. Mais IF n'est-il pas à son tour un universel, à propos duquel le même problème de régression se pose ?

F(a), F(b), F(c), etc., sont des tokens exactement ressemblants du type IF « être instance (particulière) de F ». Mais un type est un universel, donc il n'y a rigoureusement aucune raison de penser que le même problème ne se pose pas à ce niveau. En effet, de chacun de ces états de choses, on affirme en vérité qu'il est IF. « IF » est donc un prédicat générique, au même titre que « F ». L'énoncé vrai « F(a) est une instance particulière de F » peut donc se noter « IF(F(a)) ». Or « IF(F(a)) » désigne aussi un état de choses d'un nouvel ordre : « F(a) étant une instance de IF », auquel on identifie naturellement le vérifacteur de l'énoncé « IF(F(a)) ». Mais il faut maintenant rendre compte de ce qu'ont en commun ces différents vérifacteurs IF(F(a)), IF(F(b)), IF(F(c)), etc… On voit alors s'amorcer la régression !

Comment concevoir en effet les vérifacteurs de ces différents énoncés : « IF(F(a)) », « IF(F(b)) », « IF(F(c)) », etc., qui disent tous que les états de choses F(a), F(b), F(c), sont des instances du type IF ? Il faut, pour respecter à nouveau nos deux conditions vérifactionnelles, que chacun de ces vérifacteurs soit « quelque chose de particulier » à l'état de choses dont on parle, mais aussi de commun à tous. Mais se pose à l'égard de ces états de choses de troisième ordre le même problème : pour penser ce qu'ils ont en commun, tout en garantissant leur diversité, il faut se donner les moyens d'y reconnaître les tokens d'un unique type d'états de choses, « être instances de IF », et qu'on peut appeler IIF ou I^2F. On voit se profiler la régression, qui peut être exprimée soit comme inflation des états de choses, soit comme inflation des types d'états de choses (cela revient rigoureusement au même) :

Inflation des types d'états de choses, en appliquant à chaque étape la règle suivante : « si on postule un universel I^nF, alors il faut postuler $I^{n+1}F$ pour rendre compte de son instanciation »[24].
Inflation des états de choses, en appliquant à chaque étape la règle suivante : « pour tout ensemble de particuliers I^nF (a), I^nF (b), I^nF(c), etc., qui se ressemblent, on doit postuler un ensemble d'états de choses particuliers par quoi ils se ressemblent en tant qu'instanciations de la propriété I^nF : $I^{n+1}F$(a), $I^{n+1}F$(b), $I^{n+1}F$(c), etc. ».

Sous la première forme, comme inflation des types, on reconnaît la régression classique qu'Armstrong voulait éviter : pour rendre compte de l'instanciation d'un universel, il faut postuler un nouvel universel. Mais sous sa seconde forme, elle est nouvelle : la primitivité de la notion d'état de choses implique que pour rendre compte de ce qu'ont en commun des états de choses d'ordre *n* formés

[24] En notant le premier universel F ainsi : I^0F, on s'aperçoit que nous appliquions cette règle depuis le début de la régression, à $n = 0$.

par l'instanciation du même universel, il faut postuler un ordre *n+1* d'états de choses qui sont les instanciations du types d'état de choses que sont les états de choses d'ordre *n*.

Le postulat des types d'états de choses serait donc le contraire d'une solution s'il ne permettait pas de bloquer cette régression dès le départ. Et l'on sent bien ce que cette régression a d'artificiel, même si elle est une suite rigoureuse de la solution au problème de l'instanciation des universaux et des états de choses. Il y a un passage où Armstrong aperçoit le blocage de cette régression :

> Et si la régression de l'instanciation pouvait être stoppée à la première étape ? Nous devons permettre l'introduction d'un lien fondamental ou *nexus* : l'instanciation. Mais supposons que nous avons *a* qui instancie F. Doit-on pousser l'analyse plus loin ? Je ne le pense pas. En effet, remarquons que la suite présumée de l'analyse est maintenant logiquement déterminée par l'état de choses postulé, ce qui n'était pas le cas à la première étape. Si a instancie F et que F est une entité universelle, alors nous sommes logiquement contraints de dire que a, F et l'universel Instanciation instancient Instanciation, et ainsi de suite. Mais peut-être pouvons-nous accorder cela, sans penser que le fait « a, F et Instanciation instanciant Instanciation » corresponde à un authentique état de choses dans le monde. A mesure que l'analyse se poursuit, nos énoncés sur ces faits d'instanciation restent vrais, mais aucun vérifacteur ou fondement ontologique supplémentaire ne sont requis pour rendre ces énoncés vrais. Mais je ne suis pas totalement serein vis-à-vis de cette solution. (Armstrong, 1989, p. 109)

Transposé à notre propre formulation de la régression, voici comment on pourrait penser le blocage de la régression : une fois qu'on a postulé l'universel de propriété F, qui est instancié par a, b, c, etc. (et donc, étant donnés les états de choses F(a), F(b), F(c), etc.), il n'est pas nécessaire de postuler le type d'états de choses IF (et les états de choses correspondants) comme *un matériel ontologique supplémentaire*. Pour cela, il faudrait que, dès que a est F, on ait F(a) instance de IF. Il doit suffire que a soit F pour que l'état de choses ainsi formé, F(a), puisse à son tour être automatiquement reconnu comme token d'un type, « instance particulière de F ». Autrement dit, en termes ontologiques, on pourrait très bien admettre une régression, mais qui n'est pas vicieuse, puisque l'état de chose IF(F(a)) *surviendrait* sur F(a) sans impliquer aucun matériel ontologique supplémentaire. On peut bien, si l'on veut, accumuler les types d'états de choses d'ordres successifs (I^2F, I^3F, etc.), ils n'auront besoin, pour être le cas, que du simple fait que a soit F. Ainsi, la question que nous devons poser est : dès que a est F, a-t-on alors le fait que F(a) est une instance de F ?

3.4.L'existence du type au prix de l'abstraction.

Comment pourrait-ce n'être pas le cas ? Reprenons l'exemple sur lequel Armstrong introduisait la notion de type d'états de choses : « être un homme ». N'a-t-on pas, dès que a est humain, que a est un homme ? Autrement dit, avec F : « être humain » et IF « être une instanciation particulière de l'humain,

c'est-à-dire un homme », on aurait bien, dès que a est humain, que le particulier épais « a-étant-humain » est un homme. Et cela vaudrait pour tout particulier qui est humain. L'état de choses typique semblerait bel et bien être le cas « automatiquement »[25], dès que le particulier instancie l'universel de propriété, et pour tous les particuliers qui le font. Toutefois, si l'on dit vrai en affirmant que « le rire est humain », alors tout rire particulier est humain. Pourtant, il serait absurde de dire qu'un rire particulier est un homme. Le prédicat IF « être un homme » ne s'applique qu'aux *individus* humains, et non aux entités d'autres ordres comme des gestes, des événements, des rapports sociaux, etc., qui peuvent pourtant « être humains ».

Mais prenons un autre exemple : F signifie maintenant « être vert », qui est vrai du particulier a, une émeraude qui présente un certain vert, et IF « être instance (particulière) du vert » ou « instancier particulièrement le vert ». Peut-on dire que le fait que a soit vert (c'est-à-dire l'état de choses F(a)) instancie automatiquement IF, c'est-à-dire est une instance particulière du vert ? Et cela quel que soit a, c'est-à-dire quelle que soit le particulier qui instancie F ? Imaginons une émeraude b, qui est verte elle aussi. Alors l'énoncé F(b) est tout aussi vrai que l'énoncé F(a). Il est rendu vrai par l'état de choses F(b), c'est-à-dire « b instanciant F ». Mais alors, pour expliquer ce qu'il y a de commun à (ces deux vérifacteurs) F(a) et F(b), il doit être le cas que F(b) est une instance particulière du vert, autant que F(a). F(b) et F(a) sont des états de choses particuliers qui instancient également le type IF « instancier particulièrement le vert ». A nouveau, comment nier que ce soit bien le cas ?

3.4.1. Le principe d'existence des types d'états de choses en question.

Si on prend au sérieux le statut de choses *concrètes et premières* prêté aux états de choses, alors F(a), F(b), F(c), ne peuvent pas se ressembler comme instances particulières de F (tokens du type d'états de choses IF) sans *qu'existe* ce type IF. Simplement *concevoir* le type IF (par exemple par abstraction mentale), ou *désigner* ces divers états de choses comme tokens d'un type, ne suffit pas à fonder le fait qu'ils ont en commun d'être des cas d'instanciation de F. Aussi sommes-nous prêts à faire une concession importante au tenant de la réalité des types d'états de choses : si on admet la validité de la catégorie ontologique des types d'états de choses, alors on doit admettre que pour toute collection *d'états de choses exactement ressemblants*, un type correspondant existe, dont ces états de choses sont les tokens. Ce n'est pas dire que le type n'est que l'ensemble de ses tokens, mais qu'étant donné la classe de ces tokens, automatiquement le type existe. Qu'on accorde ou non la vérité de ce principe compte peu en réalité, car c'est son explicitation qui nous permet de placer l'armstrongien en difficulté. Car il

[25] « Automatiquement » signifie que le type est le cas, nécessairement et sans matériel ontologique supplémentaire, dès que la condition est remplie. C'est un adverbe utilisé par Armstrong pour penser l'instanciation d'une loi dans un état de choses particulier, et comme nous tenons pour parents le problème de l'instanciation des lois et celui des universaux (*cf* chapitre VII section 1.3.), nous nous autorisons cet emprunt.

le contraint à tenir les différents états de choses F(a), F(b), F(c), etc., pour *exactement ressemblants*, afin d'en inférer l'existence survenante du type IF. Or, les tenir pour exactement ressemblants, c'est présupposer que les états de choses ont un caractère d'abstraction qu'ils ne peuvent avoir, puisqu'ils ne sont pas des *abstracta* mais des *concreta*.

En effet, l'état de choses F(a) est le fait que le particulier fin a instancie F. Et si F(a) est une instance *particulière* de F, cela tient au fait que F est instancié et particularisé par a. Donc le *seul* type d'états de choses ou « type de particularisation » (comme dit justement Armstrong) dont F(a) peut être *automatiquement* le token, c'est un type tout à fait spécifique : « être une instance de F particulière par a » ou « être une a-instance de F ». On peut dire aussi : « F(a) a-instancie F ». Qu'est-ce que cela peut bien vouloir dire d'a-instancier F ? C'est simplement d'instancier F d'une *certaine* manière, celle de a ; ou encore, que c'est a qui particularise F en l'instanciant.

Ce rôle du particulier a dans la particularisation de l'universel F est posé par la définition même de l'état de choses chez Armstrong. La catégorie ontologique des états de chose signifie qu'une propriété répétable s'instancie en étant la propriété *d'un* particulier. L'universel est particularisé par sa composition avec *ce* particulier. Si on devait considérer, au contraire, qu'autre chose que le particulier a est responsable de la particularisation de la propriété en a, alors nous ferions un retour certain à la catégorie des tropes, qui procure à l'occurrence d'une propriété une particularité indépendante du particulier concret a. Cette voie est fermée par hypothèse, dans cette section où nous examinons les états de choses.

Ainsi, quand on a a qui est F, le fait F(a) instancie automatiquement la propriété « être une a-instance de F ». Cette propriété, que nous notons 'a-IF', n'est pas un trope mais un type, et donc un universel qui doit donc être considéré répétable. F(a) qui est a-IF n'en est qu'un cas particulier.

Maintenant, F(a) n'est pas a-IF du seul fait qu'il est une instance particulière quelconque de F, mais en vertu de ce qu'il est tout entier comme état de choses, c'est-à-dire du fait que c'est en lui *a* qui instancie F. Si ce n'était pas le cas, mais si a-IF survenait automatiquement sur tout état de choses qui est une instance particulière de F, alors F(b) serait aussi une a-instance de F, ce qui est absurde. En effet, en vertu du même fait d'instancier particulièrement F, F(b) serait aussi une a-instance de F, ce qui n'a aucun sens, sinon celui *d'identifier arbitrairement* la façon qu'a a d'être F et celle qu'a b de l'être. Cette identification illégitime et subreptice des types a-IF et b-IF est précisément ce qu'on désigne comme la présupposition du caractère abstrait des états de choses F(a) et F(b), car F(a) et F(b) ne seraient des tokens du même type que s'ils étaient des instances particulières de F *abstraction faite* de la particularité de a et de b.

Donc les divers états de choses F(a), F(b), F(c), etc., ne peuvent pas être considérés comme les tokens d'un type unique, qui surviendrait automatiquement sur eux en vertu de ce qu'ils sont. Car les seuls types qui surviennent sans ajout ontologique sur F(a), F(b), F(c), etc., sont les *différents* types « être une a-instance de F », « être une b-instance de F », « être une c-instance de F », etc., qui sont

plusieurs et non un, à moins d'identifier arbitrairement les façons qu'ont ces divers particuliers a, b, c, etc., de particulariser l'universel F. Donc la régression a bien lieu, et elle est vicieuse : pour rendre compte de la ressemblance de a, b, c, etc., il faut rendre compte de la ressemblance de F(a), F(b), F(c), etc., et donc celle entre IF(F(a)), IF(F(b)), IF(F(c)), etc., alimentant ainsi l'inflation en universaux ou types d'états de choses : F, IF, I^2F, I^3F, etc…

3.4.2. L'abstraction en contrebande.

Pourquoi, dans ce cas, le tenant des universaux était si prompt à admettre que les différents états de choses qui sont les diverses instanciations et particularisations de F dans les particuliers a, b, c, etc., sont évidemment les tokens d'un même type d'état de choses ? Autrement dit, pourquoi accordait-il si vite la ressemblance exacte entre F(a), F(b), F(c), etc. ? Après tout, ces différents faits ne sont-ils pas tous des cas de particuliers « étant F », et donc identiques sous cet aspect (identité du type) ? Non, ces faits ne sont pas du même type à moins de cesser de les prendre pour les particuliers *épais* que sont censés être les états de choses, et de les voir justement comme des *aspects identiques* dans des choses diverses. Ce qu'on présuppose en pensant que les faits F(a), F(b), F(c), etc., sont des tokens exactement ressemblants du même type d'états de choses IF, c'est que ces faits sont des *aspects abstraits* des particuliers a, b, c. La ressemblance exacte ne peut survenir automatiquement qu'entre des aspects distincts mais abstraits des choses. Ce qu'on aimerait donc secrètement, c'est que les états de choses F(a), F(b), F(c), etc. se comportent comme des tropes, c'est-à-dire comme des particularisations exactement ressemblantes de F. Mais par hypothèse, nous devons refuser le retour en sous-main de ce caractère abstrait.

Reformulons l'argument avec l'exemple du vert. Peut-on dire que les états de choses « a étant vert », « b étant vert », etc. forment des tokens du type IF « instancier particulièrement le vert » ? Ce que nous voulons, c'est que ces états de choses, en tant que tokens du même type, soient des cas identiques (qualitativement) du type « être instance particulière de F ». Mais nous voulons également que ces tokens surviennent automatiquement dès que les particuliers a, b, c, etc., sont verts, pour que l'existence du type « être instance particulière du vert » n'exige pas la formation d'authentiques états de choses supplémentaires, impliquant un authentique et nouvel universel, IF. Autrement dit, que F(a), F(b), F(c), etc., soient des manières particulières mais exactement ressemblantes d'être vert.

Or en pensant ainsi, nous revenons directement aux tropes, et contrarions la nature même des états de choses comme particuliers épais et concrets. Si en effet les états de choses F(a), F(b), F(c), etc., sont par principe distincts et divers (contrairement aux tropes), c'est que chacun est la particularisation de la couleur verte par les particuliers distincts et divers a, b, c, etc. C'est la définition même d'un état de choses : ce cas de vert est le vert *de a*, ou le vert *de b*, ou celui *de c*, et nous n'avons pas le droit de présupposer que ces divers objets qui sont bien verts, ne le sont pas différemment et à leur manière.

Autrement dit, ce sont des cas particuliers de vert qui sont des manières différentes d'être vert, autant que les particuliers a, b, c sont différents. Par exemple, nous n'avons aucune raison de postuler que ce sont des nuances exactement ressemblantes de vert, à moins qu'une ressemblance plus complète entre a, b et c nous donne raison de le croire.

La présupposition du caractère abstrait des tokens de tout type d'états de choses doit rester implicite, car elle contredit la notion même d'état de choses. Mais il est amusant de la voir affleurer dans le texte d'Armstrong lui-même cette ambiguïté à propos des états de choses en général. Nous avons relevé au moins deux lieux où Armstrong assimile explicitement les états de choses à des aspects abstraits des choses particulières, plutôt qu'à des choses concrètes. Et ces lieux ne sont pas innocents, car dans le premier Armstrong utilise désigne les états de choses comme des vérifacteurs, et le second se trouve dans une discussion des tropes. (Armstrong, 2004) se demande à quoi identifier le vérifacteur de l'attribution du prédicat F au particulier a. Il commence par refuser la réponse nominaliste, qui considère que ce qui rend vraie cette prédication, c'est ce qu'est le particulier a tout entier (on reconnaît Quine). Mais Armstrong justifie ensuite la nécessité de réduire le vérifacteur d'une attribution à un vérifacteur *minimal* (*minimal truthmaker*), qui n'est pas le particulier a tout entier, mais seulement une partie, à savoir la propriété pertinente qui est en lui (*within*). A ce point, il considère la théorie des tropes, comme possibilité d'analyse de la présence d'une propriété dans un particulier, puis argumente en faveur de sa propre analyse en termes d'états de choses. Donc ici, les états de choses forment une catégorie ontologique concurrente aux tropes, et pour être des vérifacteurs *minimaux* ils doivent être moins que les particuliers concrets entiers, c'est-à-dire des parties fines plutôt que des particuliers épais, des aspects abstraits plutôt que des faits concrets.

Mais avant cela, (Armstrong, 1989) propose de voir les propriétés comme des « façons » (*ways*) qu'ont les choses concrètes d'être, et ensuite seulement de se demander si ces propriétés sont des universaux ou des tropes :

> Avant de conclure cette section, je voudrais remarquer que la conception des propriétés et relations comme des façons n'exige pas de les prendre pour des universaux. Nous pouvons toujours concevoir la propriété de a comme une façon d'être de a, même si la propriété est particulière, c'est-à-dire un trope. Seulement, aucune autre chose que a ne pourra alors être de cette façon. Pareillement, une relation qui est le cas entre a et b peut toujours être une façon dont a et b se tiennent l'un envers l'autre, même si cette façon n'est pas répétable. (Armstrong, 1989, p. 96)

Un état de chose, c'est donc la façon qu'a *a* d'avoir une propriété, que ce soit un universel ou un trope. Il apparaît bien comme un aspect de la chose, et non la chose épaisse ou concrète elle-même.

4. Conclusion.

Sortons des textes d'Armstrong, pour ramasser notre argumentation contre sa théorie de l'instanciation des universaux, c'est-à-dire des états de choses. Nous l'abordions avec l'espoir que, contrairement à la théorie des tropes, elle parviendrait à rendre compte de la ressemblance objective entre particuliers, c'est-à-dire à analyser d'une façon satisfaisante la pluralité de cas particuliers qualitativement identiques. Comme par hypothèse les états de choses sont des particuliers concrets, la condition de particularité est satisfaite : ce qui rend vraie l'attribution de F à a, c'est un fait particulier concernant a, l'état de choses F(a). Mais pour satisfaire la condition de généricité, nous devons penser ce que les divers états de choses ont en commun, et la théorie des universaux échoue paradoxalement à cette tâche !

La raison de cet échec est finalement simple. Pour analyser ce qu'ont en commun les vérifacteurs F(a), F(b), F(c), etc., la pente naturelle du réalisme des universaux est de postuler un nouvel universel. Or cet universel, que nous avons appelé IF, s'ajoute véritablement à F qu'il fallait postuler pour rendre compte de la ressemblance partielle et objective entre a, b, c etc. La régression est un vice inscrit dans le cœur de toute théorie des universaux, dès lors qu'elle se propose de postuler une nouvelle entité pour rendre compte d'une ressemblance, fût-elle exacte.

A nouveau, considérons cette conclusion paradoxale : la théorie des universaux échoue à rendre compte de ce qu'il y a de commun à des choses *diverses*. Pourtant, elle est intuitivement la plus adéquate : divers particuliers a, b, c, etc. sont des cas de la même propriété parce qu'ils instancient le même universel. Mais il ne suffit pas, pour satisfaire en même temps nos *deux* conditions vérifactionnelles, de dire qu'un *même* universel est instancié par *plusieurs* particuliers. Il faut concevoir l'ontologie de ces vérifacteurs. Or, si l'on considère que l'instanciation de F par a, l'instanciation de F par b, l'instanciation de F par c, etc., sont des faits pluriels et distincts (des états de choses), alors la condition de particularité est satisfaite, mais il faut alors rendre compte de ce qu'il y a de commun entre ces faits.

La seule voie qui s'offrait encore au tenant des universaux était d'analyser ce qu'il y a de commun entre les différents états de choses F(a), F(b), F(c), etc. comme une ressemblance exacte, indiquant qu'un genre tout particulier d'universel est le cas : le type d'états de choses. Nous nous retrouvions alors devant une pluralité de cas particuliers exactement ressemblants, les tokens du même type, c'est-à-dire exactement ce dont la théorie des tropes, et non la théorie des états de choses, est conçue pour rendre compte. Il n'est pas étonnant, alors, que la seconde échoue là où la première réussit. En effet, l'avantage du trope, c'est de pouvoir exister de façon gratuite sur le particulier a, car il n'en est qu'un caractère abstrait. C'est donc ce caractère abstrait qui lui permet d'être un cas particulier d'une propriété générique (conçue, dans cette théorie, comme classe de tropes exactement ressemblants), car n'ajoutant rien au particulier dont il est un aspect, il peut être exactement ressemblant à d'autres tropes.

Au contraire, l'état de choses « a étant F » est quelque chose en plus du particulier a. On doit ajouter au particulier fin a le fait qu'il instancie l'universel F. Or cet état de choses particulier F(a), est concret et non abstrait. Sa ressemblance avec d'autres états de choses comme F(b) ou F(c) ne peut pas être analysée sans postuler un nouvel universel IF, et d'authentiques et nouveaux états de choses IF(F(a)), IF(F(b)), IF(F(c)), etc. Des états de choses *différents*, fussent-ils ressemblants, ne peuvent pas être vus comme tokens d'un type unique sans présupposer que l'instanciation et la particularisation de F dans a, b, et c, etc., se font *abstraction faite* de a, b, c, etc., ce qui est contraire à la définition même de l'état de choses.

En revanche, le caractère concret de l'état de choses résout le problème qui se posait aux tropes : leur distinction, leur diversité sont assurées par hypothèse, puisque nous avons commencé par poser, dans la définition d'un état de choses, la primitivité des faits particuliers d'instanciation. Nous avons donc, avec les tropes et les états de choses, deux ontologies qui présentent des privilèges contraires et des défauts symétriques. Les premiers ont le bénéfice de l'abstraction, mais ne savent plus se distinguer les uns des autres. Les seconds y parviennent naturellement, mais sans l'abstraction il paraît impossible d'analyser leur ressemblance, même exacte. Dans ce balancement entre tropes et états de choses, c'est l'impossibilité de concevoir ontologiquement *une pluralité de cas particuliers qualitativement identiques* que nous rencontrons. Nous ne semblons pas pouvoir penser ensemble la distinction (numérique) des cas particuliers (qui garantit qu'ils soient plusieurs) et leur caractère abstrait (qui fonde leur ressemblance exacte sans faire appel à un nouvel universel, et sans enclencher de régression).

Chapitre II : Abstractivité et critique des nominalismes

Dans ce chapitre, nous allons critiquer le nominalisme, sous les deux formes distinctes que nous aurons à distinguer. Ces critiques peuvent être formulées, maintenant que nous avons posé dans le premier chapitre le « problème des propriétés génériques » et examiné ses solutions existantes. Pourtant, nous avons présenté ce problème, constitué par la conjonction des deux exigences vérifactionnelles, en précisant dès la section 1.1. du précédent chapitre qu'il ne se posait qu'à l'égard du réaliste. En effet, c'est seulement pour un réaliste qu'il ne suffit pas de dire que les particuliers, desquels il est vrai d'affirmer le prédicat générique F, tombent tous dans l'extension du même prédicat F, pour résoudre le problème. Ce fait sémantique, la coappartenance de ces particuliers à l'extension du même prédicat, doit pour le réaliste être fondé métaphysiquement, dans une conception ontologique de ce que sont les vérifacteurs de ces énoncés. Mais ce problème ne devrait pas à première vue concerner le nominalisme.

Or, il existe une forme de nominalisme qui, tout en n'admettant pas la réalité des propriétés, tente de résoudre ce problème métaphysique des propriétés. Elle *analyse* le partage, par plusieurs particuliers, d'une même propriété, comme leur appartenance à une même classe de *ressemblance*. C'est pourquoi, dans la deuxième section de ce chapitre, nous examinerons, et critiquerons, le *nominalisme analytique de la ressemblance* en tant que solution putative au problème des propriétés.

Ensuite, nous nous tournerons vers une seconde forme de nominalisme, qui rejette entièrement le problème des propriétés. Ce second nominalisme, plus radical, affirme qu'il n'existe dans le monde que des particuliers individuels et concrets, et *rien* à quoi on pourrait identifier, par une analyse ontologique, des « propriétés ». Par conséquent, l'appartenance de divers particuliers à l'extension d'un unique prédicat n'est pas ontologiquement fondée, mais est un fait sémantique relatif à un cadre linguistique, qui peut être déconstruit et modifié au sein d'un autre cadre. C'est pourquoi, dans une troisième et dernière section, nous critiquerons cette seconde forme de nominalisme, en attaquant l'ontologie implicite qui le supporte.

Mais avant cela, nous devons mettre en place un concept qui nous sera utile tant pour les critiques qui vont suivre, que pour bâtir notre propre théorie des propriétés dans le chapitre III. C'est pourquoi dans la première section, nous commençons par introduire le concept d'« abstractivité », c'est-à-dire ce qui fait que des particuliers abstraits sont abstraits.

1. L'abstractivité des cas particuliers.

En prenant maintenant du recul sur le chapitre I, nous allons nous apercevoir que le réalisme des propriétés, en particulier dans sa version favorable aux universaux, encourt un risque systématique

de régression vicieuse (section 1.1.), mais qu'il existe un geste, d'origine nominaliste, qui permet de bloquer cette régression. En particulier, nous verrons en quoi les tropes, comme particuliers abstraits, ont les ressources pour nous l'éviter, et appartenir à une même classe de tropes en vertu seulement de ce qu'ils sont et sans avoir à postuler un matériel ontologique supplémentaire (section 1.2.). Enfin, nous montrerons que cette vertu des tropes tient à leur abstractivité plus qu'à leur ressemblance exacte (section 1.3.).

1.1.Réalisme et régression.

Replongeons-nous dans le problème des propriétés. Soit une sémantique dans laquelle les particuliers a, b, c entrent dans l'extension du prédicat F, qui s'y applique donc véridiquement. Mais sur quoi, dans ce que sont ces particuliers, se fonde leur appartenance commune à cette extension ? La réponse nominaliste à cette question est déflationniste, au sens où elle est un refus d'entrer dans l'analyse ontologique. La vérité de l'énoncé « a est F » est fondée sur le seul fait que a soit F, selon le schéma familier de la vérité-déflation :

L'énoncé « a est F » est vrai ⇔ (si et seulement si) a est F[26].

Le particulier concret (l'individu) a, qui sert de vérifacteur à l'attribution, ne s'analyse pas. Il est un « blob sans structure » (Armstrong, 1980), qui n'est pas composé d'un particulier fin et de propriétés (tropes ou universaux). Ensuite, si divers particuliers, a, b, c, etc., sont tels qu'on peut dire d'eux tous, véridiquement, qu'ils sont F, c'est seulement en vertu de ce qu'ils sont :

Les énoncés « a est F », « b est F », « c est F », sont vrais ⇔ (si et seulement si) a, b, c, sont tous F.

Le nominaliste refuse d'entrer dans l'analyse ontologique des vérifacteurs de ces divers énoncés qui attribuent le même prédicat à des particuliers différents. Ces énoncés sont vrais des particuliers a, b et c en vertu seulement de ce que sont ces particuliers, à savoir, F.

Mais, lui répondra-t-on, le fait qu'ils soient *tous* F n'indique-t-il pas qu'ils partagent quelque chose, qu'ils ont quelque chose en commun, qui serait le fondement de cette appartenance à une même extension ? Non, répond le nominaliste, le fait qu'ils soient tous F n'est que leur ressemblance. Un réaliste comme Armstrong pense qu'il faut analyser et fonder ontologiquement les faits de ressemblance objective ; un nominaliste pense qu'il s'agit d'un fait primitif et qu'au fond, dire qu'ils se ressemblent

[26] Voir, sur la théorie déflationniste de la vérité et le schéma de la « décitation » (Quine, 1970) et (Horwich, 1990).

revient, peu ou prou, à les classer dans l'extension du même prédicat. Nous ne discutons pas pour l'instant la réponse nominaliste à cette exigence de réalisation d'une sémantique, et nous préciserons plus loin le rapport entre nominalisme et ressemblance.

Le réaliste des propriétés, en revanche, part du principe qu'il est besoin de fonder ces faits de ressemblance. Il pense en effet que quelque chose, dans les particuliers a, b, c, fondent leur appartenance commune à l'extension du prédicat F. Selon lui, il faut rendre compte de leur ressemblance par une analyse de la structure ontologique des particuliers. Quelque chose, dans chacun, fonde la vérité de l'attribution de F, et en tous, rend compte de leur ressemblance et donc de leur communauté d'extension. Ce quelque chose, nous l'avons appelé en suivant la littérature la plus générale : une propriété (réelle). Face au nominalisme, le réaliste a donc deux réflexes conjoints, qui sont deux faces de la même exigence de fondation ontologique : (1) l'appartenance commune de divers particuliers à l'extension d'un même prédicat se fonde sur quelque chose de commun entre eux, et (2) un fait de ressemblance entre eux ne suffit pas à rendre compte de cette communauté, car il doit à son tour être expliqué. Le postulat d'une propriété réelle partagée entre tous est censé satisfaire cette exigence de fondation.

Toutefois, la libération de ces réflexes réalistes peut conduire tout droit à un emballement difficilement contrôlable, et au genre d'inflation et de régression ontologiques examiné plus haut. Il faut se rappeler du problème qui a été fatal à la tentative armstrongienne de résoudre le problème des propriétés génériques. Elle consistait à identifier les vérifacteurs de l'attribution du même prédicat F aux particuliers a, b, c, etc., aux états de choses F(a), F(b), F(c), etc., formés par l'instanciation de l'universel F dans ces divers particuliers. Ces états de choses étaient, pour Armstrong, des entités particulières irréductibles aux particuliers fins a, b, c, etc. Cette « victoire de la particularité » satisfaisait notre condition de particularité. Mais il restait alors à satisfaire la condition de généricité, et rendre compte du fait que le *même* prédicat est attribué à ces divers particuliers.

Il avait alors fallu expliquer ce qu'il y avait de commun à F(a), F(b), F(c), etc. : d'être « des instances particulières de F ». Mais cela revenait à postuler un nouvel universel IF : « être instance de F ». Alors, de deux choses l'une : soit l'instanciation de IF supposait la formation d'une nouvelle couche d'authentiques états de choses, en plus de F(a), F(b), F(c), etc., et alors nous entrions dans un régression vicieuse ; soit, au contraire, IF était « automatiquement » le cas dans F(a), F(b), F(c) : ces états de choses étaient des « instances particulières de F » en vertu seulement de ce qu'ils étaient, à savoir des instanciations de F dans divers particuliers donnés, a, b, c, etc. Mais pour cela, il fallait que les états de choses F(a), F(b), F(c), etc. soient considérés comme des aspects abstraits des particuliers a, b, c, etc., et non tels qu'Armstrong les définit lui-même, à savoir comme des particuliers épais et concrets. Autrement dit, il fallait les considérer comme des tropes.

Ainsi, l'exigence de fondation ontologique doit savoir se satisfaire d'un certain niveau de réponse, sans quoi se trouve enclenché l'engrenage d'une régression vicieuse. Et le piège que nous tendions à la solution d'Armstrong nous suggérait fortement que le blocage tant désiré de la régression

se trouvait dans ce caractère abstrait, dont jouissaient les tropes. Nous allons examiner de plus près comment ce caractère abstrait des tropes, que nous désignerons comme « abstractivité », permet de bloquer la régression réaliste. Or, de manière frappante, nous allons nous apercevoir que le coup d'arrêt à l'analyse ontologique reproduit au niveau des tropes le geste déflationniste que le nominaliste faisait au niveau des particuliers concrets.

1.2.Le blocage de la régression réaliste.

Examinons de plus près la raison pour laquelle le caractère abstrait des tropes est un vaccin efficace contre le virus de la régression vicieuse dans l'instanciation. Cette régression menace toute stratégie qui entend rendre compte de l'applicabilité d'un même prédicat à une pluralité de particuliers par la possession, par eux, d'une propriété unique et identique en chacun d'eux.

Selon la théorie des tropes, c'est une occurrence *particulière* de propriété qui est le vérifacteur de l'attribution de F. Et si le même prédicat F est attribuable véridiquement à divers particuliers, c'est que sont présents en eux des tropes *exactement* ressemblants, qui les font entrer dans une classe de ressemblance. Le partisan des tropes ajoute qu'il n'est pas besoin de poursuivre l'analyse : à ce niveau, nous n'aurions plus à rendre compte de la ressemblance entre les tropes, ni de leur commune appartenance à une classe déterminée *d'abstracta*. Autrement dit, on voit le réaliste des tropes opérer le même geste déflationniste pour couper dans son élan l'analyse ontologique, stoppée nette par une violente cautérisation nominaliste. C'est certainement ce geste qui vaut à la théorie des tropes, qui est pourtant un réalisme des propriétés, le nom de nominalisme « modéré » (Hochberg, 1988), en ce qu'il admettrait l'existence de « propriétés », mais en un sens compatible avec l'intuition revendiquée par le nominalisme : « il n'existe que des particuliers ». Examinons plus en détail ce coup d'arrêt.

Le partisan des tropes ne pense pas, comme le nominaliste que le fondement de la vérité de l'énoncé « Cette table est blanche » est la totalité de ce qu'est cette table. En tant que réaliste, il pense que c'est sa blancheur qui est le vérifacteur de cet énoncé. Mais c'est dans son analyse ontologique de ce en quoi consiste « sa blancheur » qu'il se démarque du tenant des universaux. Ce qui fait entrer cette table dans la classe des choses blanches (extension du prédicat « blanc »), c'est le fait qu'elle possède une occurrence de propriété, un trope particulier de blancheur. Or cette blancheur particulière est membre « de droit » d'une classe naturelle : la classe des caractères abstraits de blancheur, des tropes blancs. Si l'appartenance de toutes les choses concrètes blanches à une même classe de ressemblance, qui est l'extension du prédicat « blanc », doit être fondée ontologiquement sur une analyse de la ressemblance de ces choses et de leur possession commune d'une « propriété de blancheur » – ce qu'admet et fait la théorie des tropes, cette exigence d'analyse n'est pas reproduite au niveau des tropes eux-mêmes. Les tropes de blancheur semblent former une classe de particuliers (abstraits) en vertu seulement de ce qu'ils sont. Lisons Stout :

> Cette approche présuppose nécessairement qu'une classe de caractères [les tropes] n'est pas constituée, ultimement, de la même façon qu'une classe de choses. Si une chose appartient à une certaine classe, c'est seulement parce qu'un caractère d'une certaine sorte est prédicable d'elle. Mais nous ne pouvons pas, sans évoluer dans un cercle vicieux, poursuivre l'analyse et dire que les caractères eux-mêmes ne peuvent appartenir à des classes ou des sortes que parce que d'autres sortes de caractères sont prédicables d'eux. Par conséquent, voici ce que je soutiens : les qualités et relations n'appartiennent à des classes ou des sortes qu'en raison des qualités et relations qu'elles sont. Les caractères, comme tels, sont instances d'universaux[27] […]. La connexion entre être un caractère prédicable et être l'instance d'une sorte de caractères est tellement immédiate et fondamentale que, la plupart du temps, il n'est ni nécessaire ni utile de faire cette distinction dans la pensée courante, ou de l'exprimer dans le langage ordinaire. (Stout, 1923, p. 116; Stout, 1923)

On voit ici apparaître le coup d'arrêt nominaliste, mais cette fois au niveau des tropes. Un trope de blanc présent dans une chose concrète fonde l'appartenance de cette chose à l'extension du prédicat « blanc », parce qu'il appartient lui-même à la classe des tropes de blanc. Mais sur quoi se fonde cette seconde appartenance ? Simplement sur le particulier (abstrait) qu'il est. Les caractères de blanc n'ont en commun que le fait d'appartenir à cette sorte de caractères, les tropes de blanc, c'est-à-dire d'être des instances de cette classe. On voit du même coup se séparer deux sens du terme « instance », comme le signale Williams dans une très importante remarque :

> Deux sens d'« instance » émergent : le sens auquel Socrate est une « instance » (concrète) de la Sagesse, et celui auquel sa sagesse est une « instance » abstraite de la même Sagesse ; ainsi que deux notions de classe : la classe ordinaire des *concreta*, qui consiste en Socrate, Platon, et toutes les autres créatures complètes et sages, et la classe des *abstracta* qui contient leurs sagesses, notre ensemble de similarité. (Williams, 1953, p. 12)

Dans les deux sens d'instance, ce qui est instancié est « la Sagesse », qui correspond chez nos partisans des tropes à une classe de caractères abstraits, et non, évidemment, à un universel comme chez Armstrong. Le premier sens d'instance correspond à l'individu concret comme sujet d'attribution. Socrate est instance de la Sagesse au sens où c'est encore de lui qu'on affirme qu'il est sage. Williams, à la suite de Stout, propose ainsi une analyse de la prédication : lorsqu'on attribue « la Sagesse » à Socrate, en disant de lui qu'« il est sage », ce qu'on dit en réalité c'est qu'il possède en lui un trope particulier de sagesse. Mais nous ne voulons pas entrer plus loin dans l'analyse de la prédication, car ce

[27] Pour Stout, un « universel » n'est pas du tout une propriété répétable, qui est entièrement une et identique à travers une multiplicité d'instances, selon la définition courante du terme, mais n'est rien d'autre qu'une classe de caractères abstraits. Être instances d'un universel ne signifie donc rien d'autre qu'être membres d'une classe ou sorte de caractères liées fondamentalement par une unité toute spéciale, qu'il appelle « unité distributive ».

qui nous intéresse surtout, c'est l'analyse du fondement de sa vérité générique : pourquoi c'est le même prédicat qu'on attribue véridiquement à d'autres individus ?

Ce fondement se situe dans le second sens d'instance. Si ce trope particulier, présent dans Socrate, est un trope de sagesse, c'est qu'il est lui-même, comme particulier abstrait, instance de la Sagesse, c'est-à-dire membre abstrait d'une classe *d'abstracta*. Pour parfaitement saisir la différence entre instance concrète et instance abstraite, on doit donc préciser que la seconde fonde la première. Socrate n'est instance (concrète) de sagesse que de façon dérivée, parce qu'il possède en lui un *abstracta* qui est instance de sagesse.

Mais en vertu de quoi un trope est-il membre de la classe des tropes de sagesse ? Il ne l'est pas, nous disait Stout et le répète Williams, en vertu d'autre chose que *de ce qu'il est*. Ce trope présent dans Socrate appartient à la classe des tropes de sagesse parce qu'il *est* une instance de sagesse. Ce caractère de blancheur sur la surface de cette table appartient à la classe des cas de blancheur parce qu'il *est* un cas de blancheur. Nous tenons donc, avec le particulier abstrait, le cas de quelque chose qui est « instance de F », et donc membre d'une classe de particuliers, en vertu seulement de ce qu'il est. Comme l'écrit Campbell :

> Un nominalisme judicieux, qui confère une nature particulière à chaque instance de chaque sorte, n'a besoin ni d'un paradigme, ni d'une somme, ni d'un universel, pour spécifier les conditions de vérité de « a est F ».
>
> 'a est F' est vrai ⇔ a contient un trope de F
>
> Et un trope de F est un trope de F si et seulement si il est F :
>
> 'Trope t est un trope de F' est vrai ⇔ t est un trope de F[28].

On est en droit de demander, alors, au partisan des tropes (ou « nominaliste modéré »), ce qui l'autorise à faire au niveau des particuliers *abstraits* ce qu'il avait refusé au nominaliste orthodoxe au niveau des particuliers *concrets*. Pourquoi ce genre de réponse déflationniste lui convient-il, pour fonder l'appartenance d'un particulier à la classe des instances de F, maintenant que c'est *d'abstracta* et non de *concreta* que l'on parle ? Pourquoi les tropes échapperaient-ils, pour fonder leur communauté d'appartenance, à la nécessité de posséder une propriété commune ? Armstrong, par exemple, n'a pas manqué de pointer ce problème, et de reprocher au tenant des tropes de ne faire que repousser le problème qui se posait, selon lui, dès le départ au nominaliste orthodoxe.

---

[28] (Campbell, 1990, p. 61) Nous avons surtraduit volontairement "Trope t is F" en "le trope t est une trope de F" au lieu de "le trope t est F" pour éviter de laisser entendre qu'on analysait ainsi les conditions de vérité de l'attribution de F au trope t. Évidemment, la qualité F est attribuée au concret a, et non au trope t. Mais ce dont il s'agit de comprendre les conditions de vérité, c'est de l'identification d'un trope comme trope de cette classe (celle des caractères F) plutôt que de cette autre (celle, par exemple, des caractère G), comme nous le disons plus loin.

1.3.L'abstractivité et la ressemblance analytique.

Pourtant, il y a une différence entre la réponse nominaliste-déflationniste et la réponse offerte par la théorie des tropes. Pour un nominaliste, la ressemblance entre des particuliers, dont on peut dire véridiquement qu'ils sont tous F, n'est ni un fait à analyser, ni un fait qui analyse et fonde ontologiquement leur communauté d'appartenance à l'extension d'un même prédicat. Dans la théorie des tropes, au contraire, la ressemblance (exacte) entre les tropes est supposée fonder ontologiquement leur appartenance à une même classe naturelle (*d'abstracta*). Il y a donc une différence cruciale d'usage de la catégorie de ressemblance : un théoricien des tropes en fait un usage analytique, au sein d'une ontologie des propriétés, dans laquelle un nominaliste refuse à première vue de s'engager. Par conséquent, se pose la question de savoir ce qui autorise le partisan des tropes à voir dans la ressemblance entre tropes une solution ontologique au problème des propriétés. Nous allons montrer que c'est le caractère abstrait – que nous appellerons *l'abstractivité* – des tropes qui le permet, là où le caractère concrets des individus admis par le nominaliste l'interdit.

1.3.1. La ressemblance fine n'est pas suffisante à fonder la commune appartenance.

Dans la théorie des tropes, ce qui fonde leur commune appartenance à une classe de ressemblance exacte, ce ne peut être la seule ressemblance, fût-elle exacte. Nous disons toujours que deux particuliers sont exactement ressemblants lorsqu'ils sont qualitativement identiques. Mais soient deux tropes exactement ressemblants, par exemple les couleurs v_1 et v_2 de deux objets qui présentent la *même nuance* de vert. Admettons que v_1 et v_2 appartiennent à la même classe V de ces « nuances particulières de vert » simplement du fait de la relation RE de ressemblance exacte, qui surgit entre eux en vertu seulement de ce qu'ils sont :

$RE(v_1, v_2) \rightarrow v_1, v_2$ *appartiennent à V*

Soient maintenant deux tropes de bleu, b_1 et b_2, dans deux objets présentant deux bleus exactement ressemblants. Alors, du fait de *leur même* ressemblance exacte, b_1 et b_2 appartiendraient aussi à la même classe V de ces « nuances particulières de vert », ce qui est absurde. Le résultat que l'on attendrait, au contraire, c'est qu'en vertu de cette ressemblance exacte les deux tropes appartinssent à la même classe B de « ces nuances particulières de bleu ». Il faut donc justifier que :

$RE(b_1, b_2) \rightarrow b_1, b_2$ *appartiennent à B plutôt qu'à V*

Évidemment, b_1 et b_2 ne se ressemblent exactement pas de la même façon que v_1 et v_2 : ils ne se ressemblent pas comme verts, mais comme bleus. Mais alors, il faudrait distinguer, pour chaque classe de tropes exactement ressemblantes, une relation de ressemblance exacte qui lui fût propre : v_1 et v_2 appartiennent à V parce qu'ils se ressemblent exactement en vert (REV), et b_1 et b_2 appartiennent à B parce qu'ils se ressemblent exactement en bleu (REB). Autrement dit, pour que des faits de ressemblance puissent fonder l'appartenance à une classe déterminée (et pas une autre), il faut cesser de concevoir la relation de ressemblance comme fine (*thin*), c'est-à-dire la même pour tous les aspects selon lesquels il y a ressemblance. Il faut lui donner une *épaisseur* (*thickness*), c'est-à-dire la déterminer comme ressemblance-en-bleu ou ressemblance-en-vert. Ce n'est pas parce que b_1 et b_2 se ressemblent qu'ils appartiennent à la même classe des tropes de cette nuance de bleu, parce que ce fait de ressemblance vaut aussi bien pour entre d'autres objets de couleurs qualitativement identiques, comme v_1 et v_2. Il faut qu'ils se *ressemblent-en-bleu*.

1.3.2. La ressemblance épaisse suppose-t-elle des universaux ?

On pourra reconnaître ici une ligne de critique de la théorie des tropes, que les tenants des universaux ont fait porter contre la relation de ressemblance, en disant qu'elle engageait implicitement des universaux. En effet, pour qu'elle soit suffisante à fonder l'appartenance commune de plusieurs particuliers à une même classe, la ressemblance (même exacte) doit être « ressemblance sous un certain aspect ». Or, comment rendre compte du fait que deux objets particuliers se ressemblent-en-bleu, plutôt qu'ils ne se ressemblent-en-vert ? Pour un tenant des universaux, on ne peut distinguer les cas de ressemblance-en-vert des cas de ressemblance-en-bleu que de deux manières : relationnelle ou monadique.

Soit, premièrement, on peut considérer que ce caractère épais des relations de ressemblance en fait des universaux (relationnels) différents en nature : deux objets se ressemblent-en-bleu et non se ressemblent-en-vert parce qu'ils instancient une relation de ressemblance-en-bleu qui est un universel relationnel distinct de la ressemblance-en-vert. Soit, on maintient que la relation de ressemblance est fine, mais on doit alors distinguer ce en vertu de quoi b_1 et b_2 se ressemblent de ce en vertu de quoi v_1 et v_2 se ressemblent : en vertu du fait qu'ils instancient des propriétés distinctes de couleurs (le bleu et le vert). D'une façon ou de l'autre, faire de la relation de ressemblance un fondement pour l'appartenance de particuliers à des classes de ressemblance suppose des universaux.

Voici alors ce que pourra répondre le partisan des tropes. Cette critique est très bonne lorsqu'on parle des faits de ressemblance entre particuliers *concrets*. La théorie des tropes suit d'ailleurs la seconde voie pour les analyser : deux concrets se ressemblent en vertu de la ressemblance fine entre ses aspects. Mais il refuserait d'en conclure que ces aspects, pour se ressembler, doivent être analysés comme des instances d'un même universel. C'est précisément à ce point que joue l'abstractivité des particuliers en

question, qui offre au tenant des tropes une parade absolue contre les attaques du réaliste des universaux. Si la relation de ressemblance exacte fonde l'appartenance de tropes déterminés à une même classe déterminée, c'est parce qu'elle relie des *abstracta*.

1.3.3. L'abstractivité des tropes.

Dans le sens le plus couramment admis s'agissant d'un trope, il est dit « abstrait » au sens où il ne représente pas la totalité de ce qu'est une chose concrète, mais seulement un de ses aspects. « Concret » sera le particulier qui, au contraire, réunit la totalité de ces aspects. Or, en ce sens précis, un particulier abstrait est ce que Campbell appelait une « nature particulière » : un particulier existant qui *est* une nature, au lieu que le particulier concret sera plutôt dit *avoir* une nature, en possédant des tropes ou instanciant des universaux. Dès lors, comme natures particulières, divers tropes, s'ils se ressemblent, ne peuvent que se ressembler *exactement* et *sous l'aspect qu'ils sont*. Nos deux tropes v_1 et v_2 sont des natures particulières vertes, et ne sont rien d'autre. Ils ne peuvent par conséquent que se ressembler sous l'aspect de ce vert, et donc, s'ils se ressemblent, n'appartenir qu'à cette classe V. Pareillement, comme ils ne sont que cela, des natures particulières vertes, ils ne peuvent se ressembler qu'exactement, puisqu'aucune dissemblance sous un autre aspect ne pourrait rendre leur ressemblance seulement partielle.

Ainsi, c'est en raison de leur abstractivité, c'est-à-dire de leur être de natures particulières, que les tropes peuvent appartenir à des classes déterminées (de caractères) *en vertu seulement de ce qu'ils sont*. L'abstractivité est donc ce qui fait qu'un particulier est, de lui-même et en vertu d'aucune propriété supplémentaire, membre d'une classe déterminée et donc cas d'une propriété générique. Formulons fermement la formule de l'abstractivité d'un particulier :

> *Caractérisation de l'abstractivité : un particulier est abstrait seulement s'il est instance d'une classe déterminée (et donc d'une propriété générique) en vertu seulement de ce qu'il est.*

C'est cela, il faut le répéter, qui fait l'extraordinaire attractivité des tropes, en comparaison des autres ontologies candidates à l'analyse des propriétés génériques. Leur caractère abstrait résout automatiquement le problème qui se posait aux états de choses chez Armstrong. Ils sont, par ce qu'ils sont, *des cas particuliers de quelque chose ou membres d'une classe de particuliers.* Le coup d'arrêt dans l'analyse réaliste de la communauté d'appartenance de divers particuliers comme instances d'une même propriété générique est autorisé par l'abstractivité.

Or, comme nous l'avons vu plus haut dans notre discussion de la théorie des tropes, la ressemblance exacte qui les distingue des particuliers concrets est en même temps ce qui les condamne. Nous avions montré qu'il devenait impossible de rendre compte de la *distinction* de tropes qui sont

exactement ressemblants, dans la mesure où tout ce qui pourrait les distinguer (n'était la distinction *solo numero* dont nous parlerons plus loin) brisait automatiquement l'exactitude de leur ressemblance. Nous trouvons maintenant la raison de cette impossibilité : entre deux caractères abstraits, la ressemblance ne peut qu'être exacte, car une ressemblance seulement partielle devrait leur prêter d'autres aspects (par lesquels différer) que l'aspect qu'ils sont, ce qui contredirait leur abstractivité. Et surtout, entre caractère abstraits, la ressemblance exacte est identité : comme les tropes sont des natures particulières, des tropes exactement ressemblants ou identiques en nature sont une même et unique nature particulière[29].

Ce résultat est extrêmement important : l'abstractivité des tropes est une solution très puissante pour stopper la régression réaliste, mais alliée au présupposé que c'est par leur ressemblance exacte ou identité qualitative que divers particuliers abstraits sont réunis, en vertu seulement de ce qu'ils sont, en une même classe naturelle, elle engendre le problème fatal aux tropes qualitatifs : l'impossible de fonder ontologiquement leur distinction numérique. Dans la présentation de notre solution au problème des propriétés, nous essaierons tout simplement de garder l'abstractivité en se passant de la ressemblance, catégorie qui vient de la littérature sur les tropes qualitatifs. Par ce. Geste, nous passerons alors d'une théorie des tropes qualitatifs à notre théorie des tropes quantitatifs, qui résoudra le problème des propriétés. Mais avant d'en venir à cette solution, nous voudrions, dans la prochaine section, utiliser maintenant ce concept d'abstractivité pour critiquer les deux formes de nominalisme que nous avons distinguées.

2. Abstractivité et critique du nominalisme de la ressemblance.

Avant d'en venir à l'exposé de notre solution, nous voudrions nous fonder sur ce concept d'abstractivité pour mettre en difficulté le nominalisme. Voici la situation dans laquelle nous devrions, en tant que réalistes, apparaître aux yeux du nominaliste : jugeant souhaitable de fonder l'applicabilité d'un même prédicat à divers particuliers sur *ce que sont* ces particuliers, nous évoluons à l'ombre d'une régression vicieuse toujours menaçante, si nous ne savons pas stopper à temps l'analyse ontologique.

Comme on l'a vu, pour bloquer la régression vicieuse fatale au tenant des universaux, le partisan des tropes pouvait reproduire, au niveau des caractères interprétés comme particuliers abstraits, le geste déflationniste que le nominaliste opérait au niveau des particuliers concrets. Mais pour ce faire, il fallait supposer cette abstractivité, dont il reste encore à montrer qu'elle n'est ni fictive ni trop coûteuse. Le nominaliste aurait donc de quoi se rengorger : le réaliste ne s'en sort qu'en empruntant la même voie que lui, après un détour (par l'abstractivité) possiblement couteux ! Pourtant, nous trouvons dans ce concept d'abstractivité non seulement de quoi soutenir notre réalisme des propriétés (quantitatives),

[29] A nouveau, cela ne veut pas dire que cette unique nature est un universel : elle est plutôt une nature particulière mais dispersée (*scattered*), voir pour cela chapitre I section 2.4.

mais aussi et d'abord de quoi mettre en sérieuse difficulté le nominaliste, au point peut-être de lui faire rendre gorge. Ces critiques du nominalisme viseront également à lever les difficultés que l'on peut de bonne foi avoir pour admettre des entités non-individuelles ou non-concrètes.

Dans cette section 2., nous allons nous en prendre à une première forme de nominalisme, qui accepte le problème des propriétés et tente d'y apporter sa solution, appuyée sur le concept de ressemblance. Nous aborderons dans la section 3. la forme de nominalisme qui repousse le problème lui-même. Pour commencer, nous expliquons pourquoi cette première forme de nominalisme doit se présenter comme un nominalisme de la ressemblance (section 2.1.). Ensuite, nous formulerons contre elle deux critiques successives (section 2.2.), avant une conclusion générale concernant la catégorie de la ressemblance, et la place diminuée qu'elle devrait jouer, selon nous, dans la solution au problème des propriétés (section 2.3.).

2.1.Le nominalisme analytique de la ressemblance.

Il faut commencer par s'entendre sur le premier type de nominalisme concerné ici par la critique. Rappelons le cadre posé par le problème des propriétés génériques : sur quoi, dans ce que sont divers particuliers, fonder l'applicabilité multiple d'un prédicat qui se dit véridiquement d'eux ? Cette question appelle une conception ontologique des vérifacteurs de ces attributions. C'est dans ce qu'ils sont qu'il faut, pour le réaliste, chercher la raison de leur commune appartenance à une même classe. Comment situer le nominalisme face à ce problème ?

2.1.1. Le nominalisme analytique et le « nominalisme de l'autruche ».

Le nominalisme se conçoit-il comme une réponse ontologique possible à ce problème, distincte de toute autre position qui admettrait des entités non-individuelles ? Ou bien représente-t-il une option ontologique qui refuse les termes mêmes du problème ? En réalité, ce sont deux attitudes nominalistes qui se distinguent face à cette question.

La première accepte les termes du problème, et entend bien le résoudre. Nous parlerons alors d'un *nominalisme analytique*, en ce qu'il analyse les conditions ontologiques de satisfaction des deux contraintes vérifactionnelles qui constituent notre problème. Comme le réaliste, ce nominalisme pense que le fondement de l'applicabilité multiple d'un prédicat se trouve dans ce que sont les particuliers, mais contrairement au réaliste, il refuse que cet « être » des particuliers s'analyse par les catégories de propriétés, de tropes ou d'universaux. Il accepte la question, mais rejette avec la réponse réaliste toute tendance à conférer une réalité aux propriétés ou à une « nature commune ». Il n'y a que des particuliers concrets et individuels, et il faut concevoir comment ils « conviennent » entre eux, comme on disait au

Moyen-Âge, pour former une classe naturelle. C'est ce premier nominalisme que nous examinons maintenant.

Le second rejette en bloc ce problème, et considère que, puisqu'il n'existe que des individus, il n'y a aucun fondement réel de la distinction entre classe naturelle et classe artificielle. L'arrangement des individus en classes suit notre construction sémantique et linguistique du monde ; et nous pouvons construire et modifier ces extensions de prédicats, sinon à notre guise – puisque l'on peut admettre des contraintes de cohérence, du moins *sans contrainte ontologique* venant de la réalité des individus. Ce nominalisme rejette donc les termes mêmes du problème, considérant que si la condition de particularité ne fait pas problème (dans la mesure où c'est ce qu'est un individu qui rend vrais tous les énoncés particuliers le concernant), la condition de généricité exprime une exigence illégitime. Il y a là un refus, pur et net, de penser un quelconque fondement pour une vérité générale, qui justifie qu'on l'appelle, suivant la littérature récente, *nominalisme de l'autruche*. Il n'en sera pas question maintenant.

Notre argument contre le nominalisme analytique en général s'énonce simplement. S'il accepte de répondre à la question posée, et cherche à fonder l'appartenance de divers particuliers à une même classe, alors ce nominalisme doit supposer à son tour, à un niveau ou à un autre, la même abstractivité des particuliers que nous. Or la seule supposition de cette abstractivité est fatale pour l'ontologie nominaliste, puisqu'elle revient à nier qu'il n'existe que des particuliers concrets, c'est-à-dire des individus. Ainsi, si l'abstractivité est la seule façon de penser comment un particulier est, par lui-même et en vertu seulement de ce qu'il est, cas d'une propriété générique, alors nous devrions pouvoir montrer que le nominalisme analytique, ou bien présuppose une forme d'abstractivité à un niveau ou un autre, et est inconséquent, ou bien n'apporte en réalité aucune réponse au problème des propriétés génériques, et se ramène à une forme de nominalisme de l'autruche ignorante d'elle-même.

2.1.2. Usages projectifs, analytiques et problématiques des catégories.

Mais avant de le développer, nous devons faire un point méthodologique sur les différents usages des catégories ontologiques comme « propriété » ou « ressemblance », pour éviter de fatales ambiguïtés.

Souvenons-nous que le problème des propriétés génériques peut se formuler d'un point de vue sémantique. Un même prédicat s'applique à divers particuliers parce qu'ils appartiennent à son extension. Une sémantique définit ainsi les conditions de vérité de l'attribution de « F » à de multiples particuliers. Mais le problème, ontologique, est alors de concevoir ce qui fonde cette sémantique dans la réalité des particuliers en question. Autrement dit, qu'est-ce qui fait de l'extension de tel prédicat une classe naturelle, tandis que l'extension de tel autre ne correspond à rien qui ne soit linguistiquement construit et artificiel ?

Au début de ce travail, nous avions nettement distingué les conditions de vérité, définies par une sémantique, des vérifacteurs, conçus par l'ontologie. Cette distinction était le fondement de l'orientation économe du réalisme des propriétés rares (*sparse*), qui refusait d'admettre des propriétés « abondantes », c'est-à-dire autant de propriétés que de prédicats dans un langage. Maintenant, nous devons poser une autre distinction qui découle de cette première. Nous utilisons, depuis le début, des catégories ontologiques : tropes, universaux, particuliers, individus, propriété, classe, etc. Le nominalisme en utilise lui aussi certaines. Mais il faut distinguer entre ce que nous appellerons un *usage projectif* et un *usage analytique* de ces catégories ontologiques.

Par un usage projectif d'une catégorie ontologique, on ne signifie en réalité rien de plus que ce qu'établissent déjà les conditions de vérité fixées par une sémantique. On ne prétend alors à rien d'autre qu'une formulation équivalente de ces conditions de vérité, simplement « projetées » sur la réalité des choses par l'usage d'une catégorie ontologique. Par exemple, posons que E : « a est F » est vrai si et seulement si a appartient à l'extension du prédicat F : voici la condition de vérité de cet énoncé E. Maintenant, si l'on dit O : « a possède la propriété F », mais que l'on ne fait qu'un usage seulement *projectif* des catégories de propriété et de possession, alors O ne fait que reformuler les conditions de vérité de E. On dit tout simplement qu'on tient pour synonymes « appartenir à l'extension du prédicat F » et « posséder la propriété F ». Dans la littérature, il arrive très souvent que les catégories de « classe », d'« appartenance à une classe », de « propriété » et de « possession d'une propriété » fassent l'objet d'un tel usage seulement projectif.

Or un tel usage n'est précisément pas une analyse de ce que c'est que de posséder une propriété ou d'appartenir à une classe, ni de ce que pourraient être les propriétés ou les classes. C'est pourquoi, maintenant, nous appelons usage *analytique* d'une catégorie le fait d'y recourir non plus pour reformuler les conditions de vérité avec un vernis ontologique, mais pour analyser ce qui, ontologiquement, fonde ces conditions. L'usage analytique des catégories ontologiques les utilise pour concevoir l'être des vérifacteurs. Il ne reformule pas les conditions de vérité en les projetant sur les choses, mais sonde le fondement ontologique de cette vérité. Par exemple, on peut considérer que ce qui fonde la vérité de l'énoncé E : « a est F », et qui réalise la condition « a appartient à l'extension de F », c'est l'existence d'une classe *naturelle* des choses F. Ici, le vérifacteur de E est un fait ontologique : l'appartenance de a à cette classe naturelle. Ou encore, on peut proposer comme catégories primitives l'universel F et la relation d'instanciation I, telles que ce qui fonde la vérité de E est l'instanciation I de F par a. Dans tous ces cas de figure, les catégories de « classe », d'« appartenance », d'« universel et d'« instanciation » font l'objet d'un usage analytique.

Il faut, pour être tout à fait complet, signaler un troisième type d'usage, aussi important que provisoire. Il s'agit de l'usage *problématique*, que nous réservons exclusivement à la catégorie de « propriété ». Nous faisons un tel usage du terme de propriété lorsque par lui nous désignons le « quelque chose = X » qui fonde la sémantique d'un prédicat générique, mais qui reste encore à analyser.

En parlant de propriétés problématiquement, nous désignons bien les vérifacteurs qui devraient rendre vraie l'attribution multiple du même prédicat à divers particuliers, et donc nous n'en faisons pas un usage projectif. Pour autant, en parlant problématiquement de propriétés, nous ne faisons que désigner l'existence de ces vérifacteurs, sans dire encore en quoi ils consistent ontologiquement, nous n'en faisons donc pas non plus un usage analytique. Le terme « propriété » est donc surtout, et avant d'en trouver la solution, le nom d'un problème.

Ce problème, le nominalisme de l'autruche le refuse en bloc. De la devise nominaliste générale, « Il n'existe que des individus », il en tire qu'on ne peut faire usage analytique *que* de la catégorie d'individu. Tout ce qu'elle ne permet pas d'analyser doit être rejeté comme faux problème. En l'occurrence, le problème des propriétés génériques ne peut être résolu par l'usage analytique de la seule catégorie d'individu, il doit donc être rejeté. Avec lui, c'est évidemment aussi l'usage problématique de la catégorie de propriétés qui est abandonné. Et enfin, toute catégorie ontologique (autre que celle d'individu) ne peut faire l'objet que d'un usage projectif. Mais le nominalisme de l'autruche n'a pas forcément raison. Demandons-nous en effet s'il peut y avoir un nominalisme analytique, qui accepte de poser le problème des propriétés – et de faire ainsi un usage problématique du terme « propriété », tout en défendant une solution *nominaliste* à ce problème, c'est-à-dire une ontologie qui ne fait aucun usage analytique de la catégorie de propriété (ou d'universaux, de tropes, etc.). Expliquons maintenant pourquoi un nominalisme analytique est possible (puisque nous ne voudrions pas critiquer une position impossible), et pourquoi surtout, à notre sens, il est forcément un nominalisme de la ressemblance.

2.1.3. Le nominalisme analytique de la ressemblance (NAR).

Un nominalisme analytique est possible. S'il n'existe que des individus, et aucune entité non-individuelle, ce n'est pas une raison pour ne pas chercher à résoudre le problème des propriétés génériques. En s'engageant dans le problème, le nominaliste accepte alors de faire un usage problématique de la catégorie de propriété : quelque chose dans la réalité des particuliers individuels fait qu'un prédicat s'applique véridiquement à une pluralité de particuliers distincts, et il faut l'analyser ontologiquement. Nous verrons que les analyses récentes de Rodriguez-Pereyra (2002) s'inscrivent explicitement dans ce cadre. Pour formuler une solution à ce problème, enfin, il faut ajouter à la catégorie d'individu une seconde catégorie ontologique, objet d'un usage analytique. Nous pensons qu'en dernière analyse, c'est toujours vers la catégorie de ressemblance que toutes les tentatives convergent.

2.1.3.1.Les différents nominalismes analytiques concevables.

En effet que tout nominalisme analytique est, en dernière instance, un nominalisme analytique de la ressemblance (NAR). Autrement dit, toute catégorie par laquelle le nominaliste entend suppléer

celle d'individu, dans un usage analytique, implique la catégorie de ressemblance, et celle-ci suffit à un nominalisme analytique. Qu'elle y suffise, nous l'examinerons ensuite avec le nominalisme de la ressemblance de Rodriguez-Pereyra. Tout de suite, montrons en revanche que tout nominalisme analytique qui fait usage d'une autre catégorie que celle d'individu implique l'usage analytique de celle de ressemblance.

Suivons la typologie des nominalismes proposée par Armstrong (1978a), qui distingue nominalismes du prédicat, du concept, de la classe et de la ressemblance. Tous ces nominalismes sont présentés comme des réponses à la question : en vertu de quoi l'énoncé E « a est F » est-il vrai ? Les nominalismes du prédicat et du concept répondent que E est vrai en vertu d'une relation de subsomption (« tomber sous ») entre a et le prédicat F ou le concept de F. On peut s'accorder pour dire que les catégories en question n'engagent aucune analyse ontologique, étant donné que les prédicats et concepts sont des entités linguistiques ou mentales. Ces deux premières formes de nominalisme ne sont donc pas des nominalismes analytiques.

Qu'en est-il du nominalisme de classe ? Il dit que l'énoncé E est vrai en vertu de l'appartenance de a à la classe des F, que nous notons : {F}. Mais y a-t-il une différence entre : « l'extension du prédicat F » et {F} ? Si la classe des F est identique à l'extension du prédicat F, alors elle ne désigne rien d'autre que les conditions de vérité des énoncés qui attribuent F, et on ne fait alors de la catégorie de « classe » qu'un usage projectif. Si, en revanche, {F} ne se confond pas avec l'extension du prédicat F et que l'on fait un usage analytique et non simplement projectif de la catégorie de « classe », il faut y voir l'entité qui, dans la nature des choses, fonde cette sémantique. La vérité de l'attribution du prédicat générique F au particulier a doit se fonder sur l'existence de la classe {F} et « l'appartenance » de a à cette entité. Les termes « classe » et « appartenance » dont alors l'objet d'un authentique usage analytique.

2.1.3.2.Insuffisance du nominalisme analytique de classe.

Armstrong a formulé, contre le nominalisme analytique de la classe, une objection qui nous semble cruciale. Dans quel ordre pense-t-on vraiment que les choses se passent ? Est-ce E qui est vrai en vertu du fait que a appartient à {F}, ou bien ne doit-on pas plutôt penser que a appartient à {F} en vertu de la même chose qui rend vrai « a est F », à savoir quelque chose dans la nature de a ? (Armstrong, 1978a, p. 36) Cette alternative est décisive, car elle nous montre qu'une catégorie ontologique, pour être analytique, doit en même temps être primitive. Si, en effet, on pense comme Armstrong que l'appartenance de a à {F} doit encore être analysée, et fondée par exemple sur la possession d'une propriété, alors l'existence de la classe {F} n'est pas un fait ontologique primitif. Mais dans ce cas, la catégorie non-primitive de « classe » (et d'« appartenance à une classe ») ne fait pas l'objet d'un usage analytique, mais seulement problématique : elle désigne un fait ontologique qu'il reste encore à analyser.

Autrement dit, si c'est en vertu de ce qu'est a qu'il appartient à la classe des F, le nominalisme de classe n'est pas analytique.

Donc pour offrir une solution analytique au problème des propriétés, le nominalisme de classe doit présenter la catégorie de « classe » comme primitive. Ce qui fait que « a est F » est vrai, et si l'on parle projectivement, ce qui fait que a possède la « propriété F », c'est en dernière analyse qu'il appartient à la classe des F. L'appartenance à une classe déterminée et l'existence de cette classe apparaitraient alors comme des faits primitifs, ultimes fondements ontologiques de la vérité de l'attribution de F à a, b, c, etc. Dans quelle mesure cette approche est-elle en mesure de répondre au problème des propriétés génériques ?

La condition de particularité est facile à satisfaire. Le vérifacteur de « a est F » est un fait particulier, l'appartenance de a à {F}. Ce fait est à prendre comme ontologique et primitif, sans quoi le nominalisme ne peut pas prétendre être analytique. Qu'il soit particulier relève, à nouveau, de cette « victoire de la particularité » signalée par Armstrong, et que nous admettons ici : nous avons divers faits particuliers : l'appartenance de a à {F}, l'appartenance de b à {F}, l'appartenance de c à {F}, etc.

Dès lors, comment satisfaire la condition de généricité ? Il faut penser ce qu'il y a de commun entre ces divers faits particuliers. On voit jaillir exactement la même régression dont était victime la théorie des états de choses d'Armstrong : ces différents faits d'appartenance ne peuvent être instances d'une même propriété qu'en appartenant à une même et nouvelle classe {IF}, la « classe des faits particuliers d'appartenance à {F} ». Il est facile alors de montrer que la régression s'enclenche, et qu'elle est vicieuse. Il n'y a donc, en principe, aucune raison pour qu'une ontologie qui admet l'existence de classes et prend pour primitive l'appartenance des particuliers à ces classes n'aient pas les mêmes vices que la théorie des universaux et de l'instanciation (Armstrong, 1978a, p. 41).

2.1.3.3.Le nominalisme de la ressemblance est le seul analytique.

A moins qu'on ne parle de classes de ressemblance. C'est ici l'immense avantage du nominalisme de la ressemblance de tirer dans une catégorie ontologique inédite, la « ressemblance », de quoi couper court à toute régression. Cela ne doit pas nous surprendre, nous qui avions déjà vu ce fait se produire avec la théorie des tropes et l'idée d'une classe de particuliers abstraits exactement ressemblants. Il semble en effet – et c'est ce qui est couramment admis à son endroit, que la relation de ressemblance bénéficie d'une forme de gratuité ontologique, qui nous permettrait, en la prenant comme catégorie primitive, sans coût ontologique aucun, de fonder :

(1) L'appartenance de a à la classe {F} : c'est que a ressemble aux particuliers qui sont F, membres de cette classe (Condition de particularité).

(2) L'appartenance de divers particuliers à une même classe : c'est qu'ils se ressemblent entre eux (Condition de généricité).

Le geste fondamental du nominalisme analytique de la ressemblance (NAR) est de classer la catégorie de ressemblance non pas comme projective (comme le ferait un nominaliste du prédicat, par exemple, qui dirait que n'importe quels particuliers se ressemblent pourvu qu'on puisse leur appliquer le même prédicat), ni comme problématique (comme le pense Armstrong, pour qui un fait de ressemblance est objectif mais reste à analyser ontologiquement), mais comme analytique. Les faits de ressemblance sont pris pour ontologiquement primitifs et fondateurs. C'est ce que propose la thèse fondamentale NAR :

(NAR) a et b sont instances de la même propriété F (avec C la classe de particuliers correspondant à l'extension du prédicat F) en vertu du fait que *a et b se ressemblent et ressemblent à tous les particuliers qui sont F.*

C'est cette théorie que nous allons examiner maintenant, qui fait des catégories de propriété et de classe un usage seulement problématique, en les analysant ultimement par la catégorie de ressemblance entre particuliers.

2.2. Critique du nominalisme de la ressemblance.

Nous commençons dans la section 2.2.1. par poser les coordonnées problématiques de cette étude du nominalisme, en prenant aussi le temps d'une mise en perspective historique. Ensuite, nous formulerons une première critique de la thèse NAR, en montrant qu'elle aboutit à une régression vicieuse (section 2.2.2.), avant d'expliquer pourquoi, selon nous, la catégorie de ressemblance ne peut pas servir à résoudre le problème des propriétés (section 2.2.3.).

2.2.1. Cadre problématique et historique.

Soit ce que nous appelons maintenant le « fait projectif » : « a et b appartiennent à la même classe » ou « a et b partagent la même propriété » (nous tenons ces formulations pour équivalentes puisque les termes « classe » et « propriété » ici ne sont utilisés que projectivement). Comment le nominaliste peut-il analyser le fondement de ce fait projectif dans la réalité des particuliers ?

2.2.1.1.Cadre problématique.

Il ne peut asseoir cette commune appartenance que sur ce que sont les particuliers comme *concreta*, sans leur prêter une structure ontologique plus complexe. Le problème que doit affronter tout nominaliste, s'il veut répondre à cette question, vient du fait que les particuliers se ressemblent et diffèrent d'une infinité de manières. Plus précisément, pour tout ensemble de particuliers, on sait depuis (Goodman, 1972) qu'il est possible de forger un prédicat tel que son extension comprend cet ensemble. C'est l'enjeu de la distinction entre classes naturelles et classes accidentelles : trouver le fondement de la naturalité d'une classe, qui distingue les premières des secondes.

Transposons cet enjeu sur le nominalisme de la ressemblance : il s'agit de montrer que la catégorie de ressemblance est susceptible d'un usage analytique, et non seulement projectif. L'« usage projectif de la catégorie de ressemblance » est précisément celui qu'en fait Goodman : deux particuliers se ressemblent si et seulement si on peut leur appliquer le même prédicat dans un cadre linguistique donné. D'un point de vue projectif, n'importe quels particuliers peuvent être dits « ressemblants ». Il s'agit donc de défendre un usage analytique de la ressemblance, et voir dans des faits ontologiques de ressemblance entre particuliers de quoi fonder leur appartenance à une même classe, c'est-à-dire le caractère naturel de cette classe.

Le cadre problématique général dans lequel nous inscrivons les analyses NAR est alors le suivant : un usage analytique de la catégorie de ressemblance est-il possible, qui soit compatible avec le principe fondamental du nominalisme de n'admettre que des individus, et surtout aucun aspect *abstrait* dans les particuliers concrets ? Un nominaliste peut-il énoncer un tel fondement, sans proposer une analyse ontologique plus poussée de la structure du particulier concret, et donc en restant nominaliste ? Nous le nions, et pensons que pour faire un usage analytique de la ressemblance, il doit supposer des aspects abstraits, et contredire son nominalisme. Inversement, s'il s'y refuse et n'admet aucune abstractivité, alors il se condamne à ne pouvoir utiliser la ressemblance que projectivement, la rendant incapable de résoudre le problème des propriétés.

Au cours de nos discussions, nous tenons à parler du nominalisme de la ressemblance en général, et les critiques que nous allons lui adresser ne sont aucunement spécifiques à la présentation ou la défense particulières qu'en donne tel ou tel auteur. Cependant, nous allons aussi nous appuyer sur les thèses de Rodriguez-Pereyra, qui a proposé une défense récente de NAR et chez qui nous avons trouvé des illustrations patentes des problèmes qui se posent à ce nominalisme en général. Mais pour mieux voir en quoi nos critiques auront une portée générale, il peut être utile de donner un aperçu historique du problème du NAR et du rapport entre ressemblance et aspects abstraits des particuliers concrets.

2.2.1.2.Cadre historique.

D'un point de vue historique, le nominalisme de la ressemblance est la forme dominante de nominalisme, qui a joui pendant longtemps d'une sorte d'évidence intuitive. Depuis Aristote, qui définit le concept comme la similitude des choses particulières (Libera, 1996, p. 293), et à travers le Moyen-Âge, quand était admis un cadre nominaliste, la généralité conceptuelle ou prédicative se fonde sur la ressemblance (ou similitude ou convenance) entre les particuliers (ou les sensations particulières).

Cependant, il n'est pas prudent de parler, historiquement, de « nominalisme » en général, et il est fort possible que ce « cadre nominaliste » dont nous parlons ne soit pas apparu véritablement avant Duns Scot et Occam (XIVème siècle), c'est-à-dire avec le sens moderne d'individu comme particulier spatio-temporel. Nous parlerons rapidement, tout à l'heure, d'Abélard et nous vérifierons que son appartenance au camp des *nominales* du XIIème siècle est très loin de signifier son accord avec ce que nous appelons aujourd'hui le nominalisme (c'est-à-dire l'admission, pour seuls existants, des individus). Toujours est-il que, dans cette longue histoire, dès qu'il s'est agi de refuser de fonder la généralité (conceptuelle ou véritative) dans l'existence de choses générales (formes platoniciennes ou universaux *in rebus*), et de n'admettre que des particuliers, c'est la plupart du temps à la notion de ressemblance (ou à une notion proche : « similitude », ou « indifférence qualitative », etc.) qu'on a recours pour construire la généralité. Ce n'est que très récemment, à l'échelle de cette longue histoire, que sa prégnance a été remise en cause, à partir de sa reprise rigoureuse par Carnap dans *l'Aufbau*, puis sa critique tout aussi implacable par Goodman dans *La structure de l'apparence*.

La mise en difficulté de NAR.

Carnap, dans *La Construction logique du monde*, construit les « qualités » à partir d'une relation élémentaire (*basic relation*) de « recollection de similarité » (*recollection of similarity*) qui survient entre des entités phénoménales, les « *erlebs* » (Carnap, 1928). A partir de cette relation primitive, il dérive la relation plus générale de ressemblance qui vaut dans une classe de ces entités similaires, et qui la structure en une qualité. En laissant de côté le vocabulaire phénoménologique, qui tient au projet de Carnap de reconstruire le monde à partir des données sensorielles, il conçoit qu'un particulier a est F en vertu de sa ressemblance avec d'autres particuliers qui sont F. En utilisant la relation de ressemblance comme primitive, Carnap tient bon sur l'ordre de sa construction : une qualité F est construite *à partir d'*une relation primitive de ressemblance, qui donc ne peut pas prendre pour *relata* des aspects qualitativement distingués et abstraits dans les particuliers qui se ressemblent. C'est à partir d'une relation primitive entre individus *in toto* que quelque chose comme une qualité doit être construit, et donc la ressemblance n'est pas (primitivement) une ressemblance entre des aspects qualitatifs des individus. C'est cela qui a été identifiée comme le cœur de la thèse NAR, et qui a subi la double critique de Goodman.

Dans *La Structure de l'apparence*, Goodman soulève deux difficultés qui touchent au cœur de la thèse NAR (Goodman, 1951). Selon le « problème de la communauté imparfaite », on imagine diverses choses qui se ressemblent deux à deux sous divers aspects, mais telles qu'il n'y a aucun aspect sous lequel *toutes* se ressemblent. Mais, d'après la thèse NAR, si elles se ressemblent toutes deux à deux, alors elles forment une classe de ressemblance à laquelle on doit associer une propriété, disons F. Or il n'y a évidemment pas de propriété commune (d'où le nom de « communauté imparfaite »). Il y a donc un problème à fonder le partage d'une propriété F entre particuliers, sur le fait que tous se ressemblent deux à deux.

Ensuite, le « problème du compagnonnage », est une généralisation du problème de la coextensivité des propriétés. Si on identifie les propriétés à des classes des particuliers, et comme deux classes sont identiques si et seulement si elles ont les mêmes membres, alors deux classes coextensives ne peuvent pas correspondre à deux propriétés distinctes. Or cela peut être le cas, comme l'exemple des propriétés « avoir un cœur » et « avoir un rein » le montre traditionnellement. Ce sont deux propriétés distinctes, dont les classes correspondantes sont pourtant coextensives. Adapté au nominalisme de la ressemblance, cela donne la situation problématique suivante : un particulier devrait avoir la propriété « avoir un cœur » en vertu de sa ressemblance avec les particuliers qui ont un rein (ou inversement), ce qui est absurde. Le problème du compagnonnage est une généralisation du problème de coextensivité à tous les cas où une classe est incluse dans l'autre, mais peut contenir moins de membres. Imaginons que tous les particuliers qui sont G sont aussi F. Alors tous les particuliers qui sont F ressemblent à tous les particuliers qui sont G, leur point commun étant d'être F. Donc, n'importe quel particulier qui est F doit pouvoir être dit G, puisqu'il ressemble à tous les particuliers qui sont G ; ce qui est absurde, parce qu'il peut très bien ne rien avoir en commun avec les G, sinon d'être F.

La fausse solution de la « ressemblance sous un certain aspect ».

Il ressort, au gré des débats, qu'à la racine de ces difficultés se trouve le fait que la relation de ressemblance a pour *relata* les individus eux-mêmes, et non certains de leurs aspects. Elle est une ressemblance globale (*overall resemblance*), et non à chaque fois seulement une ressemblance sous un certain aspect (*resemblance-in-a-respect*). En effet, si l'on concevait la relation de ressemblance comme signifiant toujours une similarité d'aspect entre deux particuliers, ayant pour *relata* non plus les particuliers concrets pris globalement, mais certains de leurs aspects sélectionnés par cette relation, les deux difficultés relevées pour Goodman disparaissent, comme l'a bien montré (Wolterstorff, 1960). On dira que le particulier a est F s'il « ressemble-en-F » à d'autres particuliers, formant avec eux une classe de ressemblance-en-F. Premièrement, il n'y a plus de communauté imparfaite formée par une relation de ressemblance. Si la ressemblance est toujours selon un certain aspect, alors toute classe de particuliers qui se ressemblent deux à deux sous le même aspect est une communauté parfaite. Deuxièmement, les problèmes de coextensivité et de compagnonnage se résolvent également : un particulier a un cœur en

vertu de sa ressemblance dans « l'avoir un cœur » avec les autres mammifères, et non en vertu de sa ressemblance avec les mammifères en tant qu'ils ont des reins[30].

Toutefois, cette solution est-elle acceptable dans un cadre nominaliste ? On peut en douter, dans la mesure où il faudra alors rendre compte du fait que divers particuliers partagent le même aspect, avant d'avoir recours à la catégorie de ressemblance. Cette mêmeté d'aspect pourrait s'analyser dans le cadre d'une théorie des universaux, ou bien des tropes. Pour l'auteur dont nous allons examiner en détail les thèses, Rodriguez-Pereyra, admettre une relation de ressemblance selon un aspect, et non globale, c'est analyser les particuliers concrets en leur attribuant des aspects abstraits : c'est donc se jeter, pieds et poings liés, dans les filets de la théorie des tropes (Rodriguez-Pereyra, 2002, p. 158 et 178) ou des universaux, et abandonner le caractère primitif de la ressemblance :

> Le caractère primitif de la ressemblance a une conséquence importante : elle doit être une relation de ressemblance globale (*overall resemblance*) et non une ressemblance sous un certain aspect. En effet, d'après le Nominalisme de la Ressemblance, ce qui rend vrai que a soit F ne peut pas être que a ressemble aux particuliers qui sont F sous l'aspect de la propriété F. Car alors, […] ce serait le fait qu'ils ont tous la propriété F qui rendrait vrai le fait que a ressemble à tous les particuliers qui sont F, au lieu que la ressemblance entre tous ces particuliers soit ce qui rende vrai qu'ils ont tous la même propriété. Les ressemblances que le Nominaliste de la Ressemblance invoque sont trop élémentaires (basic) pour être distingués selon les différents aspects où il y a ressemblance. […] C'est ce qui fait du Nominalisme de la Ressemblance un projet philosophique si radical et difficile, où les aspects – c'est-à-dire les propriétés – ne sont pas donnés, mais analysés à partir des particuliers et d'une unique relation de ressemblance globale. (Rodriguez-Pereyra, 2002, p. 64)

Rodriguez-Pereyra refuse de faire de la ressemblance une ressemblance-selon-un-aspect, parce qu'elle ne pourrait plus être primitive. Le fait que la relation de ressemblance doive se préciser selon un aspect, et donc être fondée sur une ressemblance plus fondamentale entre aspects abstraits des particuliers, sera au cœur de notre critique du nominalisme de la ressemblance. Admettons, pour la suite, qu'une ressemblance-en-F qui relierait deux particuliers concrets implique comme un fait plus fondamental une relation de ressemblance (globale) entre deux aspects abstraits de ces particuliers. C'est, en tout cas, ce que semble admettre Rodriguez-Pereyra, puisque c'est au motif qu'admettre ces aspects abstraits revient à postuler des tropes et à sortir du pur nominalisme, qu'il rejette les thèses de Wolterstorff.

---

[30] Nous rejoignons ici une caractéristique des tropes déjà signalée, qui vient de leur abstractivité : entre eux, une relation de ressemblance toute simple et globale ne peut être en même temps qu'une ressemblance sous l'aspect qu'ils sont. Et c'est pourquoi les difficultés de Goodman ne peuvent pas se poser à l'égard de la théorie des tropes, qui prennent pourtant la relation de ressemblance pour primitive (Campbell, 1990, p. 33).

Le précédent abélardien.

Pour finir ce paragraphe historique, nous voudrions simplement rappeler les thèses d'Abélard, qui semblait avoir compris que la ressemblance ne pouvait se trouver qu'entre des aspects des particuliers, et non entre les individus pris globalement. Considérons par exemple tous les individus humains. Ce qui fonde la vérité de l'application, à toutes et tous, du prédicat « être humain », c'est ce qu'ils sont : des êtres humains – jusqu'ici, on croit reconnaître le coup d'arrêt déflationniste. Mais ce fait, qu'ils sont tous des hommes, consiste en leur commune appartenance à la classe des particuliers qui se ressemblent en tant qu'ils sont des hommes. Voici comment Abélard l'exprime :

> Étant donné des hommes singuliers, séparés les uns des autres : du point de vue physique ils diffèrent aussi bien par leur essence que par leur forme ; ils ne s'en rencontrent pas moins en ce qu'ils sont des hommes. […] Ce que l'on veut dire (en parlant d'une telle rencontre), c'est, par exemple, que Socrate et Platon sont semblables par le fait qu'ils sont des hommes, comme le cheval et l'âne sont semblables par le fait de l'être pas hommes (le « n'être-pas-homme »), c'est-à-dire par le fait même qui nous autorise à les dire non-hommes. Ainsi, dire que des choses séparées se rencontrent, c'est dire que ces choses singulières sont telles qu'on peut leur attribuer [ou nier d'elles] un certain nombre de caractères précis. […] Quand nous disons que cet homme singulier-ci et cet homme singulier-là se rencontrent dans l'état d'homme (*in statu homini*), c'est-à-dire en ce qu'ils sont des hommes, ce que nous voulons dire c'est seulement qu'ils sont hommes et que, par-là [une autre traduction dit « sous ce rapport »], il n'y a aucune différence, je veux dire en tant qu'ils sont hommes. En parlant de ce statut nous ne désignons donc aucune existence (*essentiam*), par « état d'homme » nous entendons seulement le fait d'être homme (*esse hominem*) qui n'est pas une chose, mais bien la cause commune de l'imposition du même nom (« homme ») à tous ces différents hommes singuliers, puisque c'est par là qu'ils se rencontrent les uns avec les autres. (Abélard, *Logica Ingredientibus*, cité et traduit par (Libera, 1996, p. 156))

Comme l'explique Alain de Libéra, Abélard fait partie de ces *nominales* du XIIème siècle qui refusent la théorie platonicienne des formes séparées, mais aussi l'hypothèse de ces choses générales présentes dans les choses particulières, qu'on n'appelle pas encore systématiquement « universaux ». Récusant toutes ces solutions réalistes, Abélard doit expliquer néanmoins ce qui fonde l'applicabilité multiple d'un même prédicat sur divers particuliers, c'est-à-dire la naturalité de la classe des hommes qui fait l'extension du prédicat « être humain ». Pour réaliser ce programme nominaliste, Abélard cherche à penser comment ces particuliers se « rencontrent » ou « conviennent entre eux », c'est-à-dire exactement le même fait que nous désignons aujourd'hui par leur ressemblance. Ce qui nous intéresse, alors, c'est que la ressemblance n'est manifestement pas la catégorie primitive dans l'ontologie abélardienne. Comme le souligne A. de Libéra, c'est la catégorie de « statut » qui lui permet d'analyser la ressemblance entre deux particuliers :

> La seule raison pour laquelle le mot homme désigne tous les hommes et chaque homme est que tout homme est un homme […]. Pour expliquer en quoi consiste ontologiquement ce fait, Abélard est conduit à repenser entièrement la théorie de l'indifférence et à proposer une définition nouvelle du *status* – de ce « statut » où conviennent et s'accordent les individus. (Libera, 1996, p. 154)

Deux particuliers a et b conviennent dans le fait d'être homme, et cela nécessite une explicitation de ce en quoi consiste ce fait, présent en chacun, d'être homme. Cet « étant homme » en quoi nous nous rencontrons est ce qu'il appelle un « statut », et qu'il définit explicitement comme un caractère précis qui n'est pas une chose (c'est-à-dire n'est pas séparable et concret). Ce sont donc des aspects abstraits des choses concrètes, qui font que chacune est en elle-même non seulement humaine, mais surtout une instance particulière de l'humain, c'est-à-dire un homme. C'est ce que nous appelons des tropes, et reprise aujourd'hui, la théorie abélardienne ne pourrait donc plus du tout être considérée comme nominaliste. Nous reconnaissons dans l'ontologie du statut exactement ce que nous voulons dire par notre concept d'abstractivité. Si Abélard a raison, alors la ressemblance n'apparaît plus comme une catégorie analytique primitive, mais nécessite à son tour d'être fondée sur des statuts, c'est-à-dire des aspects des particuliers qui conviennent entre eux.

De ce cadre problématique et historiquement, il ressort que pour rester cohérent, le nominalisme de la ressemblance doit considérer cette la relation comme absolument primitive. Elle doit être la seule catégorie analytique à côté de celle d'individu. Or, pour être primitive, elle doit être décrite comme une ressemblance globale et non une ressemblance selon un aspect. Si, au contraire, on ne peut échapper à la catégorie d'aspect, alors la ressemblance n'est pas primitive et le projet analytique du nominaliste contredit, dans la mesure où un aspect semble bien être une entité non individuelle, en particulier non concrète.

2.2.2. L'aporie de la ressemblance primitive.

Une fois ceci posé, nous allons développer essentiellement deux critiques. La première (section 2.2.2.) commence par admettre les termes du projet NAR, sa cohérence et sa finalité, et montre qu'en prenant véritablement au sérieux la primitivité de la ressemblance, alors on est entraîné soit dans le cercle d'une régression vicieuse, soit dans le mur d'une contradiction. Nous allons montrer ici que si la relation de ressemblance doit être prise pour primitive, alors sont créées les conditions d'une régression du même type que celle que nous trouvions dans la théorie armstrongienne des états de choses. Le problème de régression à propos de la ressemblance est un fait connu depuis son exposition par Russell, nous devrons expliquer ce qui distingue la régression que nous voyons, de celle de Russel. L'élément déclencheur de notre régression est l'admission de « faits de ressemblance », à nos yeux nécessaires

pour que la ressemblance soit primitive. Si on ne les admet pas, alors la ressemblance n'est pas primitive, ce qui contredit le cadre posé en hypothèse.

Selon Rodriguez-Pereyra, la ressemblance comme catégorie primitive signifie qu'il y a des faits primitifs et inanalysables de ressemblance. La ressemblance entre a et b et avec tous les autres particuliers qui sont F est ce qui fonde le fait que a ait la propriété F, que b l'ait aussi F, et qu'il partagent la *même* propriété. La ressemblance doit donc rendre compte non seulement du fait que a et b, étant F, ont la même propriété ou appartiennent à la même classe, mais aussi des faits particuliers séparés : que a a la propriété F et que b a la propriété F. Autrement dit, Rodriguez-Pereyra a l'ambition de proposer une unique réponse aux deux exigences vérifactionnelles, et aux deux questions séparées par Campbell : c'est un seul et même fait, la ressemblance entre particuliers, qui fonde leur nature particulière (que a est F, que b est F) et leur communauté d'appartenance (que a et b appartiennent à l'extension du même prédicat) (Rodriguez-Pereyra, 2002, p. 41). La ressemblance, prise comme primitive, est donc ce qui permet d'analyser non seulement le fait que tel et tel particuliers partagent une même propriété (alors que le tenant des universaux tient ce partage pour fondateur), mais aussi et surtout le fait qu'ils aient leurs natures particulières (alors que les partisans des tropes prennent ces faits pour primitifs).

Par conséquent, les ressemblances entre individus sont des faits ontologiques irréductibles. Rodriguez-Pereyra parle ainsi de « faits ontologiques objectifs » (p. 62). Pourtant, à plusieurs reprises, il prétend qu'elle n'est rien de plus que les particuliers eux-mêmes, et qu'il n'y a aucun « fait de ressemblance » à ajouter à ce que sont ces particuliers concrets. Pour répondre à l'objection redoutable de la régression, nous allons voir qu'il reflue symptomatiquement vers un pur nominalisme déflationniste qui n'admet pour toute catégorie ontologique que celle d'individu et nie l'existence de faits primitifs de ressemblance. La gageure de Rodriguez-Pereyra, en somme, c'est de vouloir penser une relation de ressemblance absolument primitive, au point que c'est elle qui fonde le fait que des particuliers aient certaines natures plutôt que d'autres, sans que cette ressemblance soit quelque chose *over and above* ces particuliers.

2.2.2.1.Le statut ontologique de la relation de ressemblance.

Un premier problème vient du statut de la relation de ressemblance : est-elle interne ou externe ? Une relation est interne si elle survient sur la nature des *relata* ; sinon, elle est externe. La relation de ressemblance est ordinairement conçue comme interne. Armstrong pose alors un grave problème au le nominaliste : comment rendre compte du fait que deux particuliers concrets, deux individus, sont dans une relation interne de ressemblance (Armstrong, 1989, p. 44) ? En particulier, le nominaliste, qui voit ces particuliers comme des « blobs sans structure » interne (*structureless blob*), doit leur refuser une « nature ». Les individus ne sont pas des « natures particulières » (tropes simples ou complexes) ni ne possèdent de nature particulière (selon le schéma de l'objet et de ses attributs). Bien plutôt, les individus

n'ont de nature (usage projectif du terme) qu'en vertu de leurs ressemblances (usage analytique du terme). Or, suivant la logique interne de l'objection d'Armstrong, si la relation de ressemblance ne peut pas suivre de la nature de ses *relata*, alors elle est externe, ce qui ne peut que mettre tout philosophe dans l'embarras.

Rodriguez-Pereyra ne répond pas vraiment à cette objection. Il ne rend compte que d'un fait dérivé : que deux individus se ressemblent à un degré *n* en vertu de leur nature. Il explique que ces individus n'ont de nature qu'en vertu de leur ressemblance simple (de degré 1) avec d'autres particuliers. Autrement dit, il ne rend pas compte du fait de la ressemblance simple, de degré 1, et surtout ne prend aucunement position sur son caractère interne ou externe, et ignore donc à peu près totalement l'essentiel de l'objection.

Mais Rodriguez-Pereyra a peut-être raison d'ignorer la question du statut interne ou externe de la relation, bien qu'il ne s'en justifie pas. Si la ressemblance est une catégorie primitive, les faits de ressemblance entre particuliers sont inanalysables et irréductibles, il n'y a donc aucun sens à se demander si la relation survient sur la nature de ses relata ou n'y survient pas. Il y a des individus, et des faits primitifs de ressemblances entre eux. Ces faits sont les fondements de ce que nous considérons comme les « natures » (usage projectif) de ces individus. En un sens, cela revient à dire que les ressemblances forment des faits ontologiques relationnels, d'une certaine façon « externes » aux individus : mais quel sens aurait ici le terme « externe », si nous nous plaçons à un niveau ontologique où les individus n'ont pas de nature préalable, et où « interne » n'aurait pas non plus de sens ?

2.2.2.2.Les régressions de la ressemblance.

Il nous semble donc essentiel pour le caractère primitif de la catégorie de ressemblance d'admettre des faits (ontologiques et relationnels) de ressemblance, irréductibles et inanalysables. Or l'admission de ces faits est l'élément déclencheur de la régression qui frappe la relation de ressemblance.

La régression, dans sa version formulée par Russell, est bien connue. Russell défendait les universaux (Russell, 1959), et c'est de ce point de vue qu'il présente cet argument contre le nominalisme de la ressemblance. Il vise à montrer que, sauf à admettre un universel de ressemblance, cette théorie produit une régression vicieuse. Soient a, b et c des particuliers qui se ressemblent. Est-ce que la ressemblance entre a et b, la ressemblance entre b et c et la ressemblance entre a et c, sont trois faits particuliers distincts ? S'ils n'en sont pas, alors la ressemblance est un universel, puisqu'elle est une seule et même chose, entièrement répétable à travers plusieurs particuliers, ce qui est inadmissible pour un nominaliste. Il doit donc accorder que ces faits de ressemblance sont particuliers. Mais dans ce cas, en vertu de quoi ces trois faits sont tous des cas de ressemblance, des exemplifications de notre unique catégorie ontologique primitive de ressemblance ? Il semble, à nouveau, impossible à notre nominaliste d'y voir les instanciations particulières d'un universel de ressemblance. Il doit rendre compte de leur

appartenance à la classe des « cas de ressemblance » par leur ressemblance deux à deux. Ils se ressemblent comme cas de ressemblance entre particuliers. On voit alors la régression s'enclencher : on n'a fait que postuler trois nouveaux faits particuliers de ressemblance pour rendre compte de la ressemblance entre les trois précédents…

La théorie nominaliste n'est pas la seule à être menacée par ce problème de régression, et toute régression n'est pas vicieuse. Comme Rodriguez-Pereyra le signale, et comme nous l'avons vu au-dessus, la théorie des universaux est elle aussi touchée, et fatalement. La théorie des tropes devrait aussi y être soumise, mais Campbell argumente avec succès contre le caractère vicieux de cette régression[31] : en particulier, et nous sommes d'accord avec lui comme nous le signalions plus haut (sections 1.2. et 1.3. de ce chapitre), comme les tropes sont des particuliers abstraits, c'est-à-dire des entités particulières qui *sont* des natures, leur ressemblance se noue entre eux sans aucun ajout ontologique. Dans le cas du nominalisme de la ressemblance, comme la ressemblance est ce qui rend compte de la nature des particuliers et non l'inverse, nous ne voyons pas comment on pourrait échapper à une régression tout à fait vicieuse.

Il n'est pas inutile de présenter la façon dont Rodriguez-Pereyra formule lui-même la régression qui menace sa théorie, avant d'essayer de la repousser, dans la mesure où il l'exprime dans les mêmes termes vérifactionnels que nous le faisons depuis le début de ce travail :

> Si a, b et c sont blancs, alors c'est le fait qu'ils se ressemblent qui fait qu'ils sont blancs. Mais alors, qu'est-ce qui fait que les ressemblances entre eux sont des ressemblances ? Soit le fait qu'elles sont instances d'un universel de ressemblance, soit qu'elles se ressemblent entre elles. Mais dans le second cas, qu'est-ce qui fait que les ressemblances entre ces ressemblances sont des ressemblances ? Soit le fait qu'elles sont instances d'un universel de ressemblance, soit qu'elles se ressemblent entre elles… […] Et ainsi de suite, *ad infinitum*. (Rodriguez-Pereyra, 2002, p. 111)

Ce qui rend vrai le fait (projectif) que a, b et c appartiennent à l'extension du prédicat 'blanc', c'est leur ressemblance deux à deux : ce sont les faits (ontologiques et primitifs) que a ressemble à b, b à c, a à c, et que chacun d'eux trois ressemble à tous les autres particuliers qui sont blancs. C'est leur appartenance commune à cette classe B structurée par la relation de ressemblance. Mais qu'est-ce qui rend vrais, à leur tour, ces trois nouveaux énoncés : aRb, bRc, et aRc ? Quel est le fondement ontologique de l'appartenance des paires (a,b), (b,c), (a,c) à l'extension du même prédicat binaire 'R' ? Si l'on reproduit, à ce niveau, la réponse proposée au niveau précédent, la régression s'amorce fatalement. La question cruciale, pour déterminer si NAR est victime de cette régression, est donc celle du statut de ces « faits de ressemblance » qui rendent compte de la nature des particuliers.

---

[31] Voir (Küng, 1967), (Campbell, 1990, p. 34) et (Daly, 1997).

Que sont ces faits de ressemblance ? Rodriguez-Pereyra commence par nier qu'ils consistent en des « ressemblances particularisées », comme si « la ressemblance de a et b » était une entité particulière et individuelle, distincte de « la ressemblance de b et c », etc., et qui s'ajouterait à a et b :

> Cette régression semble plus inexistante que vicieuse ou vertueuse. En effet, pour adapter les remarques de van Cleve (1994) à propos de l'argument original de Russell, elle présuppose de manière illégitime que si a et b se ressemblent, alors il existe une certaine entité comme « la ressemblance entre a et b ». Mais pour parvenir à ses fins explicatives, le Nominalisme de la Ressemblance n'a besoin que de supposer que les particuliers se ressemblent, et non de postuler des ressemblances. Partant, il n'y a pas à se soucier d'une quelconque régression de la ressemblance, car elle n'existe pas. (Rodriguez-Pereyra, 2002, p. 111)

En disant cela, Rodriguez-Pereyra cherche à éviter ce qu'Armstrong appelle une « régression sur l'objet » (Armstrong, 1978a), c'est-à-dire une régression qui, pour rendre compte de ce qu'ont en commun divers particuliers, est conduite à multiplier les entités (comme c'est le cas dans l'argument du troisième homme). Ici, il éviterait d'avoir à postuler et accumuler des ressemblances particulières. Mais la régression sur l'objet n'est en réalité que le risque le plus grossier de régression. Car il reste la question vérifactionnelle fondamentale : en vertu de quoi, qui concerne a et b, la phrase « aRb » est-elle vraie ? En quoi consiste ce vérifacteur, le fait que a et b se ressemblent, si ce n'est pas un fait particulier qui s'ajouterait à a et b ?

2.2.2.3.Entre le nominalisme de l'autruche et l'admission de tropes de ressemblance.

Or, il nous semble que le nominaliste de la ressemblance ici n'a le choix qu'entre deux options qui sont toutes deux fatales à son projet : soit il fait de ces cas particuliers de ressemblance des tropes de ressemblance, soit il retombe dans le nominalisme de l'autruche en refusant que ces faits de ressemblance ne consistent en quoique ce soit de plus que les particuliers a et b eux-mêmes. Rodriguez-Pereyra voit très bien le risque d'admettre des tropes de ressemblance (p. 113), qui contrediraient le cadre nominaliste général. Mais comment, dès lors, fonder la vérité des énoncés de ressemblance dans ce que sont les particuliers a et b dont on parle ? Rodriguez-Pereyra continue :

> En vertu de quoi donc est-il vrai que a et b se ressemblent ? Voici ce que répond le Nominaliste de la Ressemblance : uniquement a et b ensemble. […] Si a et b se ressemblent, alors leur ressemblance est le cas parce qu'ils sont les entités qu'ils sont, et donc a et b sont les seuls vérifacteurs de « a et b se ressemblent ». Il n'y a donc aucun besoin de postuler des entités supplémentaire pour rendre compte des faits de ressemblance : les entités ressemblantes suffisent pour cela. Et ainsi n'apparaît aucune régression de la ressemblance, puisqu'il n'existe que des particuliers se ressemblant et pas de ressemblances du tout

(*since there are only resembling particulars and no resemblances at all*). (Rodriguez-Pereyra, 2002, p. 115)

Selon cette solution, les énoncés : « a est F », « b est F » sont rendus vrais par le fait ontologique de la ressemblance de a et b entre eux et à tous les particuliers qui sont F, et le fondement de la vérité de ces nouveaux énoncés de ressemblance comme : « aRb » n'est rien d'autre que « a et b ensemble ». Rien n'est ajouté ontologiquement à ce que le nominaliste admet déjà : l'existence des particuliers concrets a et b. L'ennui, c'est que cette solution ne tient pas debout. En effet, que sont « a et b ensemble », auxquels il identifie le vérifacteur de l'énoncé « aRb » ? Il y a trois réponses différentes en puissance dans les mots choisis par Rodriguez-Pereyra.

En premier lieu, même s'il vient de le nier, la ressemblance de a et b est énoncée exactement comme un trope de ressemblance : un aspect abstrait de la paire (a,b), qui est ressemblant à un aspect abstrait de la paire (b,c), etc. Cet aspect est désigné au participe présent : les « *resembling entities* » ou « *resembling particulars* ». Si le fait que a ressemble à b, qui rend vraie l'application sur leur paire du prédicat « R », comme sur la paire (b,c), etc., est « a et b en tant que se ressemblant », alors c'est un trope. Plus loin, Rodriguez-Pereyra désigne lui-même explicitement les aspects abstrait des individus en utilisant le participe présent[32]. Mais admettons que Rodriguez-Pereyra, par « *a and b resembling each other* », ne désigne pas la ressemblance comme un aspect abstrait de la paire (a,b).

En deuxième lieu, il peut alors désigner seulement a et b en tant qu'ils sont les entités qu'ils sont (*their being the entities they are*). Mais que désigne-t-on maintenant par-là, sinon ce qui resterait à analyser comme leur « nature » ? Ce qui a été exclu par le nominaliste de la ressemblance dans la mesure où des particuliers sont de la nature qu'ils sont en vertu de leur ressemblance, et non l'inverse. Donc Rodriguez-Pereyra ne peut pas vouloir dire cela.

En dernier lieu, donc, « a et b ensemble » ne peut être que le fait que a et b existent. Or, si l'on prend comme vérifacteurs de « a et b se ressemblent » seulement les individus a et b, comme le voudrait un nominaliste pur et dur, alors on retombe dans le nominalisme de l'autruche, malgré les dénégations de Rodriguez-Pereyra dans la note 32 :

> Notez que cela ne fait pas s'effondrer le Nominalisme de la Ressemblance en un Nominalisme de l'autruche. Selon le dernier, a est suffisant pour rendre vrai que a est écarlate, tandis que selon le premier, a doit ressembler à d'autres particuliers. Aussi, selon le Nominalisme de l'autruche a et b suffisent à

[32] Par exemple p. 117, il refuse la théorie de Lewis des homologues parce que deux homologues se ressemblent non globalement (*overall*) mais sous un aspect particulier. Mais alors ce serait, dit-il : « accounting for the truthmakers of 'a resembles b' in terms of a's and b's being scarlet. This is Resemblance Nominalism upside down, if Resemblance Nominalism at all. ». Or c'est exactement ce qu'il fait textuellement quand il dit que ce qui fonde la vérité de « a ressemble à b » ce n'est « rien d'autre » que les particuliers se ressemblant (resembling particulars), puisqu'ici « resembling » n'est qu'une abréviation de « being resemblant ».

> rendre vrai que a est plus grand que b, alors que selon le Nominalisme de la Ressemblance, d'autres paires de particuliers sont nécessaires. (Rodriguez-Pereyra, 2002, p. 115)

Certes, pour le nominalisme de l'autruche, la seule existence de l'individu a est suffisante pour rendre vrai « a est rouge ». Pour le nominalisme de la ressemblance, ce n'est pas le cas : la nature rouge de a consiste en réalité entièrement dans sa ressemblance avec tous les autres particuliers qui sont a. Mais si la vérité de tous ces énoncés ontologiquement plus fondamentaux : « a ressemble à b », « a ressemble à c », se ramène ultimement aux existences de a, b, c, on ne sera éloigné de la solution nominaliste-déflationniste que pour mieux y revenir.

Enfin, Rodriguez-Pereyra fait une dernière tentative pour distinguer sa position du nominalisme pur d'essence déflationniste. Il explique que ce dernier réduit le vérifacteur de « a est F » au vérifacteur de l'énoncé « a existe ». Ce qui rend vrai « a est F », c'est aussi ce qui rend vrai « a est », et n'est que cela. Rodriguez-Pereyra se défend de faire cette réduction, et dans sa défense apparaît la faiblesse de sa position. Certes, ce qui rend vrai « a et b se ressemblent » et ce qui rend vrai « a et b existent », c'est dans les deux cas « a et b ensemble ». Mais en rendant vrai « a et b existent », a et b ensemble jouent des rôles de vérifacteurs différents : a rend vrai « a existe », b rend vrai « b existe ». Ici, en rendant vrai « a et b se ressemblent », a et b ensemble jouent « le même rôle de vérifacteur » (p. 120). Mais justement, quel est ce rôle qui est le même ici, qui ne se réduit pas à l'existence de a et l'existence de b ? Ce que a et b rendent vrai, en jouant le même rôle l'un et l'autre c'est qu'il y a un fait relationnel attaché à la paire (a,b) comme l'un de ces aspects : la ressemblance de a et de b ou « a et b se ressemblant ». Mais ceci, le nominaliste ne peut pas le dire sans se contredire.

Il nous semble donc que le nominaliste est incapable d'éviter à la fois la même régression qui était fatale à toute ontologie qui ajoutait, pour rendre compte de ce qu'ont en commun a et b, un fait ontologiquement irréductible à a et b (comme l'étaient déjà les faits d'instanciation dans la théorie des universaux), et la contradiction avec la thèse nominaliste fondamentale, qui n'admet rien d'autre que des particuliers concrets. La catégorie de ressemblance, prise pour ontologiquement primitive, conduit à une régression fatale, sauf à admettre des aspects abstraits entre les choses ressemblantes, entre lesquels la ressemblance pourrait survenir sans ajout ontologique, mais en vertu seulement de ce que sont ces aspects. Mais dans ce cas, la ressemblance n'est plus vraiment primitive et le nominalisme est contredit.

2.2.3. La ressemblance sans abstraction n'est que problématique.

Nous allons maintenant formuler une seconde critique et étayer ce qui constitue notre thèse fondamentale sur la catégorie de ressemblance : elle n'est susceptible que d'un usage projectif. Plus précisément, nous montrons que conçue comme une relation de ressemblance globale (et non selon un

aspect) entre individus (et non entre aspects), elle ne peut pas servir à dénoter des « faits objectifs de ressemblance ». Notre argument vise à opérer sur la ressemblance une sorte de *reductio at Goodmanium*, en montrant contre NAR la vérité fondamentale des critiques de Goodman sur la ressemblance. Il faut commencer par expliciter en quel sens nous comprenons que les critiques de Goodman reviennent à dire que la ressemblance n'est susceptible que d'un usage projectif.

2.2.3.1. Les trois usages de la ressemblance.

On se rappelle que l'usage projectif d'une catégorie ontologique signifie qu'en l'utilisant, on ne fait que reformuler ce qui est stipulé dans une sémantique, comme conditions de vérité des énoncés d'un langage. L'usage projectif de la ressemblance est caractéristique du nominalisme à la Goodman. Selon lui, il n'y a que des individus et rien dans leur réalité ne fonde absolument le fait qu'un prédicat s'applique véridiquement à divers particuliers. De n'importe quel ensemble d'individus on peut dire qu'ils partagent une propriété ou se ressemblent, dans la mesure où ils entrent dans l'extension d'un prédicat constructible. La classe des émeraudes vleues, par exemple, n'est en elle-même pas moins constructible que la classe des émeraudes vertes. Dire que divers individus se ressemblent n'est dire rien d'autre qu'ils entrent, d'après la sémantique ou le contexte qu'on se donne, dans l'extension d'un même prédicat. Nous prenons donc comme caractéristique de l'usage seulement projectif de la catégorie de ressemblance le fait de ne pas pouvoir distinguer entre ces deux énoncés :

(i) Une émeraude verte observée avant la date t et une émeraude bleue qui ne l'est pas se ressemblent parce qu'elles sont toutes les deux « vleues ».
(ii) Deux émeraudes vertes se ressemblent parce qu'elles sont toutes les deux vertes.

Pour le nominalisme analytique de la ressemblance au contraire, la ressemblance n'est pas synonyme de l'entrée dans une même extension, mais elle est ce qui la fonde ontologiquement. La coappartenance de divers particuliers à une même extension de prédicat doit être analysée et fondée ontologiquement, grâce à l'usage analytique de la catégorie de ressemblance. Mais il faut encore affiner les choses et distinguer, en plus de ses usages projectif et analytique, un usage problématique de la catégorie de ressemblance. Dans cet usage problématique, elle sert à déterminer plus précisément le problème du « partage d'une même propriété ». Il sera utile d'isoler dès maintenant la thèse qui sous-tend cet usage, que nous appelons la *Ressemblance comme Fait Problématique (RFP)* :

(RFP) Divers particuliers partagent une même propriété[33] *si et seulement s'ils se ressemblent.*

[33] Ou « appartiennent à une même classe *naturelle* », si l'on préfère cette autre catégorie toujours dans son usage problématique.

Commentant un passage bien connu de Lewis distinguant les propriétés rares des abondantes[34], Rodriguez-Pereyra tire explicitement de cette distinction la thèse que nous appelons RFP :

> Donc nécessairement, si deux particuliers partagent une certaine propriété rare, disons la propriété d'être blanc, alors ils se ressemblent, puisqu'ils sont tous les deux blancs. Et, inversement, nécessairement si deux particuliers se ressemblent alors ils partagent une certaine propriété rare. Car s'ils se ressemblent, ils doivent être tous les deux blancs, ou chauds, ou carrés, ou…, et donc partager la propriété d'être blanc, ou celle d'être chaud, ou carré, ou… Cette ressemblance qui accompagne le fait d'avoir la même propriété rare est ontologique et objective : […] la ressemblance n'est pas, comme Goodman le croit (1972), relative, variable en fonction du système culturel (même si nos jugements de ressemblance peuvent l'être). (Rodriguez-Pereyra, 2002, p. 20)

Ici, les faits de ressemblance ne sont plus des faits projectifs, comme les ressemblances abondantes à la Goodman. Les faits de ressemblance entre particuliers vont au contraire avec le partage d'une propriété rare. Par conséquent, ce que nous appelons avec Rodriguez-Pereyra « le problème des propriétés » peut être selon lui tout aussi bien appelé « le problème de la ressemblance » : il s'agit d'analyser en quoi consiste ontologiquement le partage d'une propriété réelle et objective, c'est-à-dire la ressemblance réelle et objective entre particuliers, qui fonde la vérité de leur attribution d'un même prédicat. C'est ce qu'affirme RFP : c'est la ressemblance entre particuliers, qui est équivalente à leur partage d'une propriété (usage problématique du terme « propriété »), qui est le fait dont nous devons rendre compte ontologiquement. On appelle parfois « mooréen » ce type de faits évidents ou indéniables, qui peuvent servir de point d'appui solide à une enquête ontologique. RFP dit que les faits de ressemblance objective sont mooréens[35].

Cette formulation du problème des propriétés comme « problème de la ressemblance » n'est pas propre à Rodriguez-Pereyra (on la retrouve par exemple chez (Armstrong, 1980, p. 102)). En revanche, le nominaliste de la ressemblance se distingue en ce qu'il propose de faire un usage analytique de la ressemblance : la ressemblance n'est pas seulement le nom du problème, elle désigne aussi et surtout sa solution. Notre but est maintenant de montrer qu'en réalité on ne peut pas dépasser son usage problématique, et qu'elle n'est pas susceptible de cet usage analytique. Plus précisément, nous allons montrer que conçue entre particuliers concrets la relation de ressemblance est simplement une contrainte

---

[34] « [Les propriétés abondantes] font fi des articulations qualitatives, mais découpent les choses de n'importe quelle manière. Les partager, cela n'a rien à voir avec le fait de se ressembler… […] Il en va tout autrement des propriétés rares. Les partager, c'est avoir une ressemblance qualitative, et elles découpent selon les articulations naturelles […] » (Lewis, 1986a, p. 59).

[35] Depuis que George Moore a présenté une réfutation du scepticisme en présentant comme indéniable le fait de l'existence de ses deux mains, et en en tirant un argument en faveur de l'existence du monde extérieur (Moore, 1939). Mais c'est à Armstrong en particulier que l'on doit cet usage précis du terme, pour désigner un fait indéniable dont il faut rendre compte ontologiquement (Armstrong, 1984).

sur le mode de coappartenance, et non la fondation de la coappartenance dans la réalité des particuliers. En disant que aRb, on ne donne pas la raison ontologique pour laquelle a et b appartiennent à la même classe (et donc le fondement de l'application véridique du même prédicat sur les deux) ; mais on dit simplement que c'est une classe *de ressemblance*.

2.2.3.2.La difficulté fondamentale

Nous pensons que la relation de ressemblance ne peut pas servir à l'usage analytique que le nominaliste NAR lui prête, parce qu'elle manque en épaisseur intensionnelle. L'argument que nous allons proposer ici est inspiré des critiques que (Price, 1953, p. 19) puis (Armstrong, 1978a, p. 46) ont déjà présentées contre le nominalisme de la ressemblance, mais nous allons voir en quoi il nous est apparu nécessaire de les reformuler.

D'après la thèse NAR, le particulier a possède une propriété F en vertu de sa ressemblance aux autres particuliers qui sont F. Avoir une propriété c'est ressembler à d'autres particuliers, et divers particuliers partagent la même propriété en vertu de leur appartenance à la même classe de particuliers ressemblants. Un lecteur rapide pourrait, tout de suite, crier à la circularité : est-ce qu'on a vraiment expliqué ce qui fonde le fait (projectif) *d'être F*, quand on a dit que c'est ressembler à d'autres particuliers *qui sont F* ? Est-ce qu'il n'y a pas, ici, une circularité insatisfaisante ?

Non, car c'est une lecture trop rapide de la thèse nominaliste ; « être F » n'est présent que par commodité dans le terme de droite. Ces autres particuliers qui sont F le sont, eux aussi en vertu de leur ressemblance aux particuliers qui sont F. Donc l'explication de ce que c'est, pour ce particulier, d'être F, n'est ni repoussée ni présupposée pour un autre particulier. Le fait fondamental, c'est que ces divers particuliers se ressemblent tous deux à deux, fondant ainsi une certaine classe de ressemblance : la classe des particuliers qui sont F. Mais demeure une certaine insatisfaction : qu'est-ce qui fait que ces divers particuliers, en se ressemblant mutuellement, sont F, plutôt que G, si nous n'avons pas le droit de dire qu'ils se « ressemblent-en-F » ? Si posséder une propriété, c'est appartenir à une classe de ressemblance, c'est-à-dire une classe d'individus structurée par la relation de ressemblance, et si partager une propriété avec d'autres particuliers, c'est appartenir à la même classe de ressemblance, alors il y a bel et bien un problème : on ne semble pas avoir les moyens suffisants pour fonder « être F » distinctivement d'« être G ». Cette difficulté, nous l'avions déjà soulevée rapidement dans le cas des tropes, avant de voir qu'ils y répondaient grâce à leur caractère abstrait. Il est nécessaire de l'exposer à nouveau en détail, car elle est fondamentale :

> *Le particulier a est instance de la même propriété F que b (et d'autres particuliers)* ***en vertu de*** *leur ressemblance.*

Le terme de gauche désigne le fait projectif « a et b appartiennent à l'extension du prédicat F » qui est dit problématiquement comme le partage d'une même propriété F. Le terme de droite désigne le fait ontologique qui pour le partisan de NAR en est le fondement ontologique : que la relation de ressemblance vaut pour toutes les paires concernées (entre a et b, mais aussi entre a, b et les autres particuliers). Maintenant, le but est de faire ressortir le fait que la ressemblance ne semble pas suffisante pour fonder distinctement le fait d'être F et le fait d'être G. En effet, s'il suffit à a et b de se ressembler pour partager la propriété F, alors en vertu du même fait ontologique, leur ressemblance, les particuliers c et d devraient partager la propriété F. Or c'est évidemment absurde, dans la mesure où c et d peuvent très bien n'être pas du tout F, mais être G.

On voit bien que le problème vient du fait que la relation de ressemblance, comme telle, est trop indéterminée ou trop vide pour fonder distinctivement ce que c'est qu'être instance de F, que a et b ont en commun, et ce que c'est qu'être instance de G, que d'autres particuliers comme c et d partagent. Ce dont elle manque, nous essayons de le désigner le plus adéquatement que nous pouvons comme « épaisseur intensionnelle ». Un tenant de NAR doit donc trouver un moyen de distinguer, en faisant usage seulement de la catégorie de ressemblance (et de celle d'individu), la classe de ressemblance des particuliers qui sont F et la classe de ressemblance des particuliers qui sont G. Il dispose, à notre avis, de deux uniques moyens pour le faire : soit, premièrement, de dire que ce ne sont pas les mêmes relations de ressemblance, soit, deuxièmement, de faire valoir que ce ne sont pas les mêmes individus composant ces classes.

La première solution consiste à discerner la classe de ressemblance des particuliers qui sont F, de la classe de ressemblance des particuliers qui sont G, en distinguant deux façons de se ressembler. Les particuliers sont F parce qu'ils se ressemblent-en-F et non -en-G. Si on admet par exemple une « ressemblance-en-F », alors a et b partagent la propriété d'être F en vertu de leur ressemblance-en-F. Et l'on voit bien qu'ainsi, c et d ne pourront partager eux aussi la propriété d'être F que s'il y a entre eux une ressemblance-en-F. Or ce ne sera pas le cas, s'ils sont G. Donc le problème serait dissout. Mais on le sait, Rodriguez-Pereyra écarte cette solution, qui revient à admettre des relations épaisses de « ressemblance-en-un-aspect », expliquant la relation de ressemblance perdrait sa primitivité (*cf* section 2.2.1.2.). Regardons alors ce qu'il en est de la seconde solution.

2.2.3.3.La tentation des paradigmes.

La seconde façon de combler le manque d'épaisseur intensionnelle est le recours à des paradigmes. C'est exactement dans ce but que Price avait formulé pour la première fois cet argument : il n'est pas suffisant de dire qu'une classe est la classe des particuliers F parce qu'ils se ressemblent mutuellement, et qu'une autre classe est celle des particuliers G parce qu'ils se ressemblent mutuellement, parce que dans les deux cas, parce que dans les deux cas, on utilise la même formule. Les

deux classes ne sont donc pas distinguées. Pour Price, il faut alors donner une épaisseur intensionnelle à la ressemblance en en faisant une relation de ressemblance *à un particulier déterminé*, pris comme paradigme. Rodriguez-Pereyra aperçoit cette possibilité, qu'il appelle le nominalisme « aristocratique » de la ressemblance. Dans une classe de ressemblance, certains particuliers sont élevés au rang de paradigmes qui permettent de fixer la signification distincte de « être F » (plutôt que d'« être G »). Mais il repousse cette solution, et distingue son nominalisme comme « égalitariste » dans la mesure où il refuse l'élection de certains particuliers au rang de paradigmes :

> C'est pour éviter [ce problème] qu'on introduit les paradigmes : des particuliers F ressemblent à *ces* particuliers-ci, des particuliers G ressemblent à *ces* particuliers-là. Selon cet argument, on postule des paradigmes pour différencier les particuliers F des particuliers G sans avoir recours à des universaux.
> Mais cet argument est un *non sequitur*. Car les nominalistes égalitaristes de la ressemblance (*Egalitarian Resemblance Nominalists*) disent que ce qui fait que des particuliers sont F est qu'ils se ressemblent mutuellement. Bien sûr, ils disent la même chose des particuliers G. Mais est-ce que cela les empêche de les différentier ? Pas du tout : les particuliers F sont *ces* particuliers-ci, les particuliers G sont *ces* particuliers-là. En d'autres termes, les particuliers F sont ceux formant la classe F, tandis que les particuliers G sont ceux formant la classe G. Puisqu'il n'est besoin d'aucun paradigme pour le dire, les nominalistes égalitaristes de la ressemblance n'ont pas besoin de les invoquer pour expliquer comment les particuliers F et les G diffèrent. (Rodriguez-Pereyra, 2002, p. 140)

Rodriguez-Pereyra pense que le problème mis en avant par Price ne conduit pas nécessairement à une théorie des paradigmes. Si divers particuliers sont F en vertu de leur ressemblance, et d'autres sont G pour la même raison, cela ne conduit pourtant pas à une confusion ou une absence de distinction entre l'être F des particuliers F et l'être G des particuliers G. La classe F des F est encore distincte de la classe G des G, parce que « les particuliers rouges sont *ces* particuliers-*ci*, les particuliers bleus sont *ces* particuliers-*là* ».

Mais cette solution est d'une ambiguïté extrême. Qui *sont* « ces particuliers-ci », et comment sont-ils distincts de « ces particuliers-là », pour que le fait de ressembler aux premiers soit un fondement ontologique distinct du fait de ressembler aux seconds ? Évidemment, ce que sont « ces particuliers-ci » ne peut pas être : « ces particuliers qui sont F », qui sont distincts comme étant F de « ces particuliers-là » qui sont G. Car alors on aurait recours à une distinction qualitative, qui ne peut qu'être fondée sur des faits de ressemblance, et non les fonder. Donc « ces particuliers-ci » sont distincts de « ces particuliers-là » seulement comme individus. Ce sont des *concreta* individuellement distincts. La classe des F et la classe des G ne sont distinctes que parce qu'elles sont formées d'individus distincts.

Mais n'est-ce pas là une théorie des paradigmes ? Si, en plus de la ressemblance, le fait que a ressemble à *certains* particuliers plutôt qu'à d'autres compte dans la fondation de son « être F », alors on a bien recours à des paradigmes. Bien qu'il s'en défende explicitement, la thèse de Rodriguez-Pereyra

se ramène à une forme de théorie égalitariste des paradigmes : ce n'est pas la ressemblance à *un* particulier, mais à *tous* les particuliers (qui sont F) qui permet de spécifier distinctement ce que c'est qu'être F par rapport à ce que c'est qu'être G. Ce sont *tous* les particuliers d'une classe de ressemblance qui servent de paradigmes, et un particulier est une instance de F en vertu du fait qu'il ressemble à tous les particuliers d'une classe 'F' déterminée.

On voit cette interprétation ressurgir en d'autres endroits, en particulier quand il s'agit de résoudre les problèmes liés à l'extension de la propriété. On a déjà vu que si deux propriétés F et G sont coextensives, alors on pourrait croire que tout particulier qui est F est un cas de F en vertu de sa ressemblance avec tous les particuliers qui sont G, ce qui serait absurde. Mais le cas d'une propriété qui ne serait instanciée que par un seul particulier est plus problématique encore : comment dire que ce particulier est un cas de F, s'il est F, en vertu de sa ressemblance à tous les autres particuliers qui sont F, s'il n'y en a pas d'autres ? A ces deux problèmes, Rodriguez-Pereyra apporte une même réponse qui fait appel aux particuliers possibles, et dont le prix est d'accepter l'existence de *possibilia*. « Être F », c'est ressembler à tous les particuliers qui sont F, actuels *ou possibles*. Donc si deux propriétés sont coextensives dans notre monde, elles ne le sont pas à travers tous les mondes possibles. Si dans notre monde, ressembler à tous les particuliers qui sont F c'est ressembler aux mêmes particuliers qu'à ceux qui sont G, ressembler à tous les particuliers *possibles* qui sont F n'est plus ressembler aux mêmes que ressembler à tous les particuliers possibles qui sont G. On voit également comment cela permet de résoudre le problème de la propriété F qui n'est instanciée qu'une fois dans le monde actuel : cela n'empêche pas que dans des mondes possibles, d'autres particuliers possibles soient F.

Mais dans ces explications, ce qui fait qu'un particulier est F, et que son « être F » est distinctement défini, c'est bien sa ressemblance à *tous* les particuliers, actuels et possibles. Donc tous ces particuliers sont promus au rang de paradigmes, au sens où être F c'est ressembler à tous ceux-là. Si un monde possible un particulier appartenant à la classe des F était supprimé, alors ressembler à tous les restants définirait une propriété autre qu'« être F ». Un changement dans l'extension des particuliers F *possibles* changerait la nature des particuliers F *actuels*, c'est-à-dire ce que c'est, *dans le monde actuel, que d'être F* – ce qui est difficilement acceptable. Mais le plus étonnant est que Rodriguez-Pereyra se défend de proposer une théorie des paradigmes, et la façon dont il le fait nous permet de soulever un dernier problème.

2.2.3.4.Le problème de l'identité et distinction des classes.

Reprenons en effet la thèse NAR : Un particulier est une instance de F en vertu du fait qu'il ressemble à *tous* les particuliers d'une classe 'F' *déterminée*. Ce qui fonde le fait que le particulier a est une instance de F plutôt que de G, c'est qu'il ressemble à tous les particuliers d'une classe 'F' déterminée

et non d'une classe 'G' déterminée. Mais sur quoi maintenant fonde-t-il l'identité ou la différence de ces classes ?

> Supposez maintenant qu'on demande au nominaliste égalitariste de la ressemblance ce qu'est la classe F. Dire que c'est la classe des particuliers qui sont F ne nous apporte rien. On pourrait bien sûr dire que c'est la classe dont les membres sont $x_1, \ldots, x_n$, mais seulement si on connaissait tous les particuliers F, ce qui n'est pas le cas. Peut-être alors devrait-on sélectionner certains particuliers, disons a, b, et c, et dire que F est la plus grande classe de particuliers ressemblants qui contient a, b et c. Mais a, b et c ne seraient-ils pas alors pris comme paradigmes ? On peut les appeler ainsi si l'on veut, mais ils ne seront pas des paradigmes dans le sens pertinent, puisque leur rôle est uniquement de fixer la référence du terme singulier « F ». […] C'est tout ce que les appeler paradigmes ici voudra dire. Mais cela n'implique pas que ces particuliers déterminent la classe F par la façon dont d'autres particuliers leur ressemblent. (Rodriguez-Pereyra, 2002, p. 141)

Il explique qu'il est légitime de demander que soit distinguées la classe des F et la classe des G, c'est-à-dire les références des termes singuliers « F » et « G », mais que c'est un problème distinct de celui de distinguer ce que c'est, pour un particulier, qu'être instance de F et qu'être instance de G. Le nominalisme de la ressemblance, par sa thèse fondamentale, ne répond qu'à cette dernière question. La distinction des classes demande un raffinement supplémentaire, et selon Rodriguez-Pereyra l'utilisation de descriptions définies impliquant la désignation et la sélection de certains membres de ces classes. Il a, ensuite, tout à fait raison d'expliquer que ce n'est pas du tout en faire des paradigmes, dans la mesure où leur rôle n'est pas d'expliquer la teneur de ce que c'est qu'être F ou être G pour un particulier.

Rodriguez-Pereyra met le doigt sur un point très important, dont nous ferons usage par la suite dans notre propre théorie des propriétés. Il montre qu'on peut très bien rendre compte ontologiquement du fait que divers particuliers, comme a et b, appartiennent à la même classe, c'est-à-dire fonder leur « être membre d'une même classe » (et ainsi fonder le caractère naturel de cette classe, le fait qu'elle corresponde à une propriété rare), sans être ainsi encore en mesure de dire de quelle classe il s'agit. On peut très bien penser que ce qui fait l'identité d'une propriété est distinct de ce qui fonde divers particuliers à en être instances. Par exemple, imaginons qu'on ait découvert le fondement ontologique R pour lequel les particuliers a, b, c, etc., sont bien tous des cas de la même propriété et forment une classe naturelle. Mais il se peut que R soit insuffisant pour fonder le fait que cette même propriété soit, par exemple, le vert plutôt que le vleu, la masse plutôt que la charge. Cela pourrait très bien être, par exemple, la place que cette propriété occupe dans les lois de la nature, qui l'individue et la distingue des autres propriétés.

Mais cette distinction n'est pas, à notre avis, accessible à un nominaliste de la ressemblance. Pour lui, ce fondement R est le fait que le particulier a ressemble à d'autres particuliers. Or, quand c'est la ressemblance qui joue ce rôle, la raison pour laquelle divers particuliers appartiennent à une même

classe, est *en même temps* la raison pour laquelle c'est la classe des F et non la classe des G. Si, comme l'affirme la thèse RFP, différents particuliers appartiennent à une même classe si et seulement s'ils se ressemblent « objectivement », alors ce fait doit déterminer aussi de *quelle* classe il s'agit. Si divers particuliers sont F parce qu'ils appartiennent à une même classe de ressemblance, alors ce sera la classe des F et non la classe des G.

Soient a et b deux émeraudes vertes, qui semblent bien se ressembler. Pour un tenant de NAR, ce fait de ressemblance permet de fonder leur appartenance commune à une même classe. Mais peut-on séparer cette appartenance à une même classe de la détermination de la classe dont il s'agit ? On ne le peut pas, sauf à ruiner toute la portée ontologique de NAR, et à réduire la ressemblance à un usage purement projectif.

En effet, admettons qu'on le puisse. Alors on pose seulement que a et b appartiennent à une même classe en vertu de leur ressemblance, mais on ne peut pas fonder par ce fait de ressemblance leur appartenance à la classe des émeraudes vertes plutôt qu'à la classe des émeraudes vleues. Comme Rodriguez-Pereyra revendique de n'avoir pas à fixer la référence du prédicat 'F' (c'est-à-dire l'identité de la propriété F ou de la classe des F), il est donc condamné à ne pas pouvoir distinguer par la ressemblance les deux faits suivants : « a et b appartiennent en vertu de leur ressemblance à la classe « Vert » des émeraudes vertes », « a et b appartiennent en vertu de leur ressemblance à la classe « Vleu » des émeraudes vleues ».

Comme les faits de ressemblance ne permettent plus de fonder distinctement les faits d'appartenir à une classe plutôt qu'à une autre, alors ces faits ne sont pas des faits de ressemblance objective. La *reductio at Goodmanium* du nominalisme de la ressemblance nous semble achevée : en disant que a et b se ressemblent, on n'énonce pas du tout un fait objectif, dont on essaie de montrer qu'il est un fondement ontologique suffisant pour rendre compte du fait que a et b appartiennent à la classe des F, ou sont instances de la même propriété F. On ne fait en réalité que reformuler, avec la catégorie de ressemblance, ce que stipule déjà une sémantique où a et b appartiennent à l'extension d'un même prédicat 'F'. Il faut donc refluer vers un usage strictement projectif de la catégorie de ressemblance. Comme le préconisait Goodman, la ressemblance n'est que le partage d'une même propriété au sens projectif du terme, c'est-à-dire le fait d'être membre d'une classe qui peut être prise pour l'extension d'un prédicat arbitrairement construit (Goodman, 1972, p. 442).

2.2.4. Conclusion concernant le nominalisme analytique de la ressemblance.

La conclusion, pour le nominalisme de la ressemblance, est désastreuse. Si deux particuliers a et b partagent la même propriété F en vertu seulement du fait qu'ils se ressemblent, alors en vertu du même fait, c et d qui pourtant ne sont pas F devraient partager la même propriété F. Ce qui serait absurde. Or, les deux voies de sortie hors de ce problème que nous avons examinées sont bouchées : d'un côté

on s'interdit de donner une épaisseur à la relation de ressemblance, en la concevant comme ressemblance sous un certain aspect, et de l'autre côté, distinguer « être instance de F » d'« être instance de G » par les particuliers déterminés auxquels on entretient la relation R de ressemblance revient toujours à une sorte de théorie des paradigmes qu'on a exclue. On ne semble donc plus avoir aucun moyen d'expliquer en quoi ressembler à d'autres particuliers fonderait distinctement l'« être instance de F » et l' « être instance de G ». A cause d'un manque d'épaisseur, la relation de ressemblance engendre les cas d'indiscernabilité, et la thèse NAR est incapable de donner une analyse ontologique suffisante de ce que c'est, pour un particulier, que d'être instance d'une propriété déterminée, c'est-à-dire d'une propriété F plutôt que d'une propriété G.

Mais au-delà de ce problème pour la théorie NAR, on peut tirer une conclusion plus profonde concernant la catégorie de ressemblance. Il nous semble ressortir des analyses précédentes qu'un fait de ressemblance ne peut pas à la fois être tenu pour primitif (c'est-à-dire irréductible à un rapport entre des *aspects* des objets ressemblants) et être un fondement ontologique suffisant pour distinguer les propriétés rares et les abondantes, c'est-à-dire les classes naturelles des classes artificielles. Si on renonce à sa primitivité, en admettant des particuliers abstraits, alors la ressemblance désigne peut-être un fait objectif, mais un fait qui est analytiquement inutile : c'est en vertu de leur caractère abstrait que les particuliers ressemblants entreraient dans une même classe d'*abstracta*, et non grâce à la ressemblance. La théorie de Rodriguez-Pereyra, parce qu'elle maintient au contraire jusqu'au bout la primitivité des faits de ressemblance, est incapable de fonder distinctement ce que c'est qu'être membre d'une classe plutôt que d'une autre, qu'être instance d'une propriété plutôt que d'une autre. Elle s'interdit d'accorder une épaisseur intensionnelle aux relations de ressemblance, et la rend donc inapte au rôle auquel elle la destine.

2.3. Conclusion : lever l'hypothèque de la ressemblance sur le problème des propriétés génériques.

Mais il y a plus à tirer des discussions qui précèdent. Nous pouvons maintenant considérer d'un nouvel œil l'aporie à laquelle nous parvenions à la fin du premier chapitre, où nous échouons à penser comment plusieurs particuliers pouvaient être numériquement distincts et qualitativement identiques.

2.3.1. La contrainte pesante de la ressemblance.

Dans la théorie des états de choses, la distinction des particuliers concrets nous assure la distinction numérique des états de choses. Mais alors nous ne parvenons plus à fonder leur appartenance à une même classe naturelle, c'est-à-dire leur être instance de la même propriété. En effet, chaque état de choses ne nous semble pas être instance d'une propriété F en vertu seulement de ce qu'il est. Le considérer comme exactement ressemblant à tous les autres particuliers qui sont F en tant qu'instance

de F, c'est faire passer en contrebande une abstraction inadmissible (dans le cadre théorique des états de choses). Les tropes qualitatifs, de leur côté, y parvenaient grâce à leur abstraction. Ils sont abstraits et sont donc par nature des cas particuliers de F ou membres d'une classe naturelle des tropes de F. Entre eux, la ressemblance n'est pas problématique, puisqu'ils ne sont que des aspects abstraits. Donc pour deux tropes de F, se ressembler c'est forcément se ressembler-en-F. En revanche, c'était de leur distinction que nous avions tout le mal du monde à rendre compte, si les tropes sont exactement ressemblants.

Nous ne parvenons pas à analyser de façon cohérente ce que signifie qu'un particulier *est*, c'est-à-dire l'est en vertu seulement de ce qu'il est, *instance particulière* d'une propriété générique. Or nous pensons que la catégorie de ressemblance est responsable de cette difficulté. La ressemblance est le nom d'une présupposition qui *contraint* le problème des propriétés lui-même. Parler de ressemblance pour formuler le problème des propriétés génériques, comme le font à la fois Armstrong et Rodriguez-Pereyra en admettant le principe RFP, c'est présupposer que partager une propriété, c'est être de même nature ou identique qualitativement. Autrement dit, c'est tenir pour acquis que la résolution du problème des propriétés génériques se résout dans une direction précise : l'analyse de ce que cela signifie, ontologiquement, que d'être identique qualitativement.

En effet, RFP nous contraint à penser que ce que doivent être des particuliers distincts pour être des membres d'une même classe (de ressemblance), c'est la même chose pour chacun d'eux, parce que cela détermine l'identité de cette classe. Autrement dit, en parlant en termes de propriété plutôt que de classe, la ressemblance nous pousse à croire que différents particuliers qui sont instances de la même propriété sont *identiquement* instances de cette propriété ; en étant des cas d'une même propriété ils en sont instances de la *même façon*. Or, c'est précisément cette présupposition qui est à l'origine du balancement entre tropes et états de choses du chapitre I. Si « a étant F » et « b étant F » sont des façons identiques d'être F, alors c'est qu'abstraction a été faite des particuliers a et b, et que nous avons deux instances abstraites de F. Autrement dit, nous avons des tropes et non des états de choses. Mais si nous avons deux particuliers abstraits qui sont deux « étant F » exactement ressemblants, qu'est-ce qui les distingue encore numériquement ? Si ce sont les particuliers concrets auxquels ils appartiennent, alors nous revenons aux états de choses. En levant, dans le chapitre III, cette hypothèque de la ressemblance, nous espérons pouvoir apporter une solution élégante et originale au problème des propriétés. Mais on s'aperçoit d'emblée que cette solution impliquera de penser que deux particuliers sont cas particuliers de la même propriété sans se ressembler. Ils devront être des instances *différentes* de la même propriété. Nous nous en expliquerons.

2.3.2. Ressemblance, intensionalité et naïveté ontologique.

Lorsqu'on lui prête une portée ontologique, dans son usage problématique (chez Armstrong comme chez Rodriguez-Pereyra), la ressemblance est une catégorie irréductiblement intensionnelle. Rodriguez-Pereyra essaie d'éviter cette intensionalité de la ressemblance, mais c'est son refus d'admettre des ressemblances-selon-un-aspect qui cause l'échec de sa théorie. Les admettre serait de toute façon entré en contradiction avec son nominalisme. L'intensionalité de la ressemblance nous apparaît maintenant comme la cause d'une mauvaise position du problème des propriétés génériques comme problème de l'identité qualitative entre particuliers distincts. En donnant un aperçu très général sur les rapports entre ressemblance et problème des propriétés, on s'apercevra que toutes les leçons n'ont pas été tirées de la critique quinienne.

Quine nous mettait en garde contre la tentation de l'ontologie naïve d'accéder aux propriétés par la signification de nos termes généraux (Quine, 1948). On pourrait résumer sa critique en un slogan : « *Meaning is not naming* », car ce n'est pas parce que nos prédicats ont une signification qu'ils dénotent une entité. Surtout, le fait qu'un même prédicat s'applique véridiquement à divers particuliers n'implique pas qu'il nomme quelque chose qu'auraient en commun ces particuliers. Mais depuis Armstrong et Lewis, on croit trop facilement éviter le problème en distinguant entre propriétés rares et propriétés abondantes, et en faisant profession de réalisme *a posteriori*. En un mot, on croit qu'il suffit de ne sélectionner que les prédicats dont nos meilleures théories scientifiques ont l'air de dire qu'ils dénotent d'authentiques propriétés, pour éviter l'obstacle quinien.

Mais alors on pose que pour ces prédicats, correspondant aux propriétés rares, leur signification renvoie à quelque identité qualitative entre les particuliers auxquels ils s'appliquent avec succès. Prendre comme faits mooréens, à analyser ontologiquement, les faits de ressemblance objective, c'est croire encore que les prédicats génériques désignent des *intensio* communes aux différents particuliers. Dans notre discussion du chapitre I, cette vieille *intensio* médiévale apparaissait sous sa forme pure : comme « instances particulières de la même propriété », les divers particuliers devaient se ressembler exactement. Ils devaient être des instances identiques de la même propriété. Or cette identité qualitative nous est apparue inconciliable avec la diversité numérique des particuliers. Il faut donc soit admettre que les divers particuliers sont *différemment* des instances de la même propriété – ce sera notre solution dans le chapitre III ; soit abandonner entièrement le problème des propriétés génériques, et ne plus chercher à fonder ontologiquement l'applicabilité véridique des prédicats génériques.

C'est pourquoi, avant d'en venir à notre solution au problème des propriétés génériques, nous voudrions en passer par une discussion avec la forme de nominalisme qui rejette le problème. Nous voulons parler de ce « nominalisme de l'autruche », qui tient qu'il n'existe aucun fondement ontologique à la distinction entre classe naturelle et classe arbitraire ou du moins artificielle, et qu'il n'y

a donc rien à analyser ontologique par la catégorie de propriété (même et surtout pas, si l'on en croit Goodman, par la catégorie de ressemblance entre individus).

3. Critique du nominalisme de l'autruche.

En posant le problème des propriétés génériques, nous avons explicitement présupposé sa légitimité. Quelles sont les conditions de vérités de F(a), F(b), F(c), divers énoncés vrais qui attribuent un même prédicat F à différents particuliers a, b et c, etc. ? Nous appelions « réalisme » la thèse selon laquelle il ne suffit pas, pour répondre à cette question, d'établir une sémantique posant les conditions de *satisfaction* de ces énoncés. On admet certes que si les particuliers a, b et c, etc. tombent dans l'extension du prédicat F, d'après une fonction sémantique d'assignation, alors les conditions de vérité de l'énoncé seront bien définies. Mais un réaliste pense de surcroît (1) que la vérité de ces énoncés, telle qu'analysée par cette sémantique, est *fondée dans ce que sont* les choses dont on parle, et qu'il doit *exister des vérifacteurs, qui remplissent ces conditions sémantiques de vérité*. Mais ce n'est pas tout, car il pense aussi (2) qu'il faut proposer une conception ontologique de ces vérifacteurs, désignés par le nom de « propriétés ». Le problème des propriétés est donc tout entier orienté vers une fin réaliste.

La forme de nominalisme que nous abordons maintenant constitue certainement la meilleure attaque contre le réalisme des propriétés, dans la mesure où il nie l'existence des propriétés en sapant le problème même que leur existence est censée résoudre. Pour ce nominalisme, l'existence des particuliers concrets est une vérité empirique, alors qu'il sera toujours possible de douter de l'existence des propriétés « en plus et au-dessus » (*over and above*) d'eux, et toute tentative réaliste pour la démontrer paraît une aventure métaphysique suspecte. Le réaliste a beau, alors, lui jeter des noms d'oiseau, en raillant un « nominalisme de l'autruche », il demeure que le nominaliste jouit d'une sorte d'avantage intuitif apparemment incontestable, qui place le fardeau de la preuve sur les épaules réalistes. Notre objectif dans cette section n'est pas de critiquer frontalement ce nominalisme, mais de lui retirer définitivement cet avantage intuitif acquis, et de reformuler ainsi le problème des propriétés.

3.1.Comment montrer l'existence des propriétés ?

Dans le chapitre I, nous sommes directement entrés dans le débat sur la nature des propriétés, en regardant comment les théorie des universaux et des tropes pouvaient résoudre le problème posé. Maintenant, nous devons rétrograder et passer à la question, qui divise fondamentalement réalisme et nominalisme, de l'existence des propriétés : existe-t-il des propriétés « en plus et au-dessus » (*over and above*) des particuliers ? Après un bref aperçu historique, nous établirons le cadre problématique précis dans lequel les deux positions s'opposent et où le nominalisme a acquis une position systématiquement avantageuse. Nous exposerons ensuite notre stratégie pour lui reprendre cet avantage.

3.1.1. La voie directe et la voie problématique.

Quelles sont les diverses façons qu'a eues le réalisme pour démontrer l'existence des propriétés ? Nous recensons deux stratégies générales : une voie directe, suivant laquelle nous avons un accès épistémique ou sémantique aux propriétés, susceptible d'étayer leur existence, et une voie indirecte, qui défend le réalisme des propriétés comme l'unique solution acceptable d'un problème ontologique légitime.

La voie directe a été ouverte par Platon. On y trouve des arguments sémantiques et épistémologiques visant à montrer que des propriétés existent en plus des particuliers qui les instancient. Nous parlons des propriétés, nous formons des énoncés sur elles qui semblent vrais d'elles, nous pouvons penser à ces propriétés et peut-être même les connaître, ce qui semble exiger qu'elles existent. Cette ligne d'argumentation, a été plus récemment réinvestie et est encore féconde[36]. Pourtant, elle est considérablement affaiblie par l'attaque de (Quine, 1948) contre toute forme d'argument sémantique : le fait qu'un prédicat ait une signification n'implique pas qu'il est un nom pour quelque chose d'existant – par exemple, pour ce que divers particuliers partageraient. En reformulant adéquatement ces énoncés apparemment vrais sur les propriétés, il se peut toujours qu'on ne finisse par devoir postuler que l'existence de ces particuliers auxquels le prédicat s'applique, et qui, eux, sont donnés empiriquement.

De façon frappante, le fardeau de la preuve semble toujours reposer sur les épaules du réaliste. Un nominaliste dirait que c'est bien normal, puisque l'existence des particuliers est donnée empiriquement, alors qu'aucune entité non-particulière ne l'est. Par conséquent, si le réaliste prétend que les propriétés existent en plus et par-dessus les particuliers, alors c'est à lui d'en fournir les preuves suffisantes. Le réaliste ne peut en tout cas pas atteindre l'existence des propriétés par le même biais, immédiat et empirique, que celui par lequel l'existence des particuliers est avérée. Dans cette première approche, une alliance apparemment naturelle du nominalisme avec l'empirisme a permis d'acculer le réalisme : les propriétés ne sont pas des entités dont on peut montrer l'existence pour des raisons empiriques, puisque nous n'avons accès, dans l'expérience, qu'à des particuliers. Par conséquent, les propriétés ne pourraient être atteintes que par des raisons *a priori*, ce qui alourdit bien sûr le fardeau.

Pourtant, une stratégie plus prometteuse a été élaborée par les réalistes, depuis les travaux d'Armstrong à la fin des années 1970 – et c'est dans cette stratégie que toute la première partie de ce travail s'inscrit. L'existence des propriétés pourrait être la meilleure solution à un problème ontologique reconnu comme inévitable. Le postulat de leur existence serait alors la façon la plus raisonnable de résoudre le problème. On commence alors par décrier un « fait mooréen », c'est-à-dire un fait indéniable

[36] Voir le *Phédon*, où Platon explique que nous ne désignons pas ni ne connaissons l'égalité dans les particuliers, mais l'égalité en soi (65a à 77e), puis (Jackson, 1977) et (Pap, 1959).

que le problème est d'analyser ontologiquement de façon satisfaisante. Dans notre cas, ce fait est l'applicabilité véridique du même prédicat à divers particuliers. Il existe donc des vérifacteurs qui sont tels qu'une même vérité (condition de généricité) vaut pour plusieurs particuliers distincts (condition de particularité). Comment concevoir l'ontologie de ces vérifacteurs ?

Plus généralement, comme on l'a signalé déjà, le fait mooréen est décrit non pas en termes de vérifacteurs mais de ressemblance objective : comment rendre compte du fait que différents particuliers sont qualitativement identiques bien que non numériquement ? Armstrong a bien montré, dans les premiers chapitres de (Armstrong, 1978a), que la position réaliste était mieux armée pour résoudre ce problème, en pointant les difficultés systématiques rencontrées par toute positions qui n'admet pas d'entité non-particulière. Il a passé en revue les différentes formes de nominalisme, en montrant pour chacune comment elle échoue constitutivement à le résoudre. En dépit alors de la persistance d'efforts nominalistes pour rendre compte de ce fait mooréen (Rodriguez-Pereyra, 2002), la position réaliste a été très efficacement défendue par cette approche problématique.

En réponse à cette stratégie, les nominalistes ont alors essayé de désactiver le problème, en refusant de voir dans ce fait mooréen un fait étrange qu'il faudrait analyser. Comment rendre compte du fait que les particuliers a et b sont tous les deux F ? En ne disant rien de plus que ce qu'on dit déjà en décrivant le fait, c'est-à-dire en affirmant que a est F et que b est F. Il n'y donc aucun besoin d'enquête ontologique sur une qualité « F » que les particuliers a et b partageraient. Cette réponse déflationniste a été qualifiée de « nominalisme de l'autruche » par Armstrong, qui y voit une attitude d'évitement pathologique d'un problème qui pourtant s'impose. Mais au yeux d'un nominaliste, Armstrong cherche un problème là où il n'y en a pas – ce pourquoi Devitt l'a qualifié en retour de « réalisme mirage » (Devitt, 1980). A travers ces échanges courtois, on s'aperçoit surtout que, quelle que soit la force de la stratégie problématique du réaliste, le nominaliste continue d'avoir l'avantage, puisqu'il peut toujours refuser d'analyser une « nature partagée » par des particuliers distincts. Tout ce qui nous est donné empiriquement sont des particuliers, qui existent distinctement et sont ce qu'ils sont. Bien sûr, on pourra toujours appeler « ce qu'ils sont » leur « nature », et le nominaliste pourra très bien alors admettre que chaque particulier a sa propre « nature ». Mais cela ne prouverait pas qu'il y a quoique ce soit de commun entre ces « natures » qu'il faudrait analyser ontologiquement.

Par conséquent, même face à la stratégie problématique, les nominalistes continuent de bénéficier d'une sorte de privilège intuitif, dans la mesure où les seules entités qu'ils admettent, les particuliers existant et étant ce qu'ils sont, sont en même temps les seules qui sont rencontrées empiriquement. Ils peuvent donc en permanence se retirer dans un scepticisme raisonnable à l'égard de toute entité non-particulière. Leur avantage vient de ce que seuls les particuliers, qui existent et sont ce qu'ils sont, sont empiriquement donnés, alors que les entités non-particulières comme les propriétés, voire même le besoin de prouver leur existence, sont pour le moins douteux.

Il serait donc incroyablement efficace, pour affaiblir le nominalisme, de nier cet avantage intuitif. C'est ce que nous comptons faire dans cette section, en lui retirant son soutien empirique apparent. Dans la suite, cous commençons par expliquer en quoi cette assise empirique repose en réalité sur une présupposition ontologique très forte, à l'œuvre dans la description que le nominalisme donne des situations empiriques. Ensuite, nous soutiendrons que le nominaliste ne peut pas, dans le débat sur l'existence des propriétés, s'appuyer sur une présupposition qui, en lui conférant un avantage considérable, suppose déjà un cadre ontologique nominaliste d'analyse des situations empiriques.

3.1.2. Cadre problématique de l'opposition nominalisme vs. réalisme.

Rappelons rapidement le cadre problématique. Nous avons une diversité de particuliers a, b, c, etc., qui sont tous F. « F » est un prédicat dont nous avons de bonne raison de penser qu'il désigne une propriété rare et non abondante, comme « être massif » ou « être électriquement chargé ». Ce qui est en jeu, pour le réaliste des propriétés, est de montrer que a, b, c sont membres d'une classe naturelle (la classe des particuliers étant F), ou bien instances d'une même propriété F, *en vertu seulement de ce qu'ils sont*, à savoir, F. Expliquons cela précisément.

Que tous ces particuliers soient F, c'est vrai par hypothèse. Mais le réaliste doit montrer qu'il existe une propriété « F » dont ils seraient tous les instances diverses, ou bien une classe naturelle composée de ces particuliers qui sont F. Nous n'avons pas, dans cette discussion, à déterminer précisément ce que « F » désigne ontologiquement : une classe naturelle d'instances, comme le pense le partisan des tropes, ou bien une entité unique, comme l'affirme le tenant des universaux, puisque nous discutons des raisons mêmes d'être réaliste plutôt que nominaliste. Utilisons donc indifféremment « être instance d'une propriété F » ou « être membre de la classe naturelle des F ». Voici alors ce que nous pensons être la question (Q_1) qui oppose *explicitement* le réalisme et le nominalisme :

> *(Q_1) Les particuliers a, b, c, etc., sont-ils instances de la même propriété F en vertu seulement de ce qu'ils sont ?*

Pour rendre (Q_1) parfaitement claire, nous devons expliquer ce que signifie « en vertu seulement de ce qu'ils sont ». D'abord, « en vertu de » renvoie directement à la relation de fondation (*grounding relation*) dont on accepte aujourd'hui largement l'utilité, sinon la légitimité, en métaphysique. C'est une relation qui exprime comment un état de fait est réalisé, à un certain niveau de réalité, en raison de faits réalisés à un niveau plus fondamental de réalité. On la conçoit généralement comme une relation

asymétrique, transitive, et le plus souvent irréflexive[37]. Mais ce qu'il faut surtout expliquer sont ici ses *relata*.

Qu'est-ce qui fonde quoi ? Si on répondait positivement à la question (Q_1), alors l'existence d'une propriété F serait fondée, et le serait uniquement sur le fait que les particuliers a, b, c sont ce qu'ils sont, à savoir, F. Pourtant, nous n'avons pas écrit « l'existence de la propriété F » dans le terme de gauche de (Q_1), mais seulement que les particuliers a, b, c sont « instances de la même propriété F ». En effet, nous prenons ces formulations pour équivalentes, car a, b, et c sont des instances d'une propriété F, ou membres de la classe naturelle F, si et seulement s'il existe une propriété F qu'ils ont en commun et partagent, ou une classe naturelle dont ils sont les membres et qui les rassemblent. Mais nous la préférons parce qu'elle énonce l'existence de F tout en ne parlant que des particuliers a, b, c et de ce qu'ils sont, « instances de F ». Dans la suite, il apparaitra clairement pourquoi il est préférable de faire ainsi, plutôt que de se référer à une « propriété F » qui existerait « en plus et au-dessus » des particuliers qui l'instancient. Prenons donc les énoncés « il existe une propriété F partagée par tous ces particuliers a, b, c » et « tous ces particuliers a, b, c sont instances d'une même propriété F » comme énonçant des faits équivalents.

Ce que nous devons souligner en revanche, c'est qu'« être instance de F » est, pour chacun de ces particuliers, tout à fait distinct de simplement « être F ». Que tous les a, b, c, soient F, c'est un fait que nominaliste et réaliste admettent ensemble, par hypothèse. Mais ce que le premier refuse, et que le second recherche, c'est que le fait qu'ils soient F soit un fondement métaphysique suffisant pour le fait qu'ils soient tous instances de la même propriété F. C'est, nous semble-t-il, dans ce refus que le nominaliste jouit d'un privilège intuitif considérable. Les particuliers a, b, c sont F, et cela peut très bien être le cas sans ajouter à leur « être F » tout niveau ontologiquement supplémentaire comme « être instance de la propriété F ». Contre cette réponse nominaliste implacable à (Q_1), nous réalistes avons à établir au contraire que la relation de fondation est bien le cas, ce qui semble une tâche impossible.

Enfin, que faut-il entendre par « ce qu'ils sont », en vertu de quoi a, b, c devraient ou non être instances d'une même propriété F ? Cette expression n'est pas technique, mais on peut tout de même la préciser. Elle désigne tout ce qu'un particulier a est comme particulier : d'abord, *qu'il est*, le fait qu'il existe, et ensuite, *ce qu'il est*. En cherchant la meilleure façon de le désigner, nous ne trouvons rien d'autre que : « son être ». Aussi lâche et vétuste que semble devenu le terme « être », il fait à vrai dire mieux l'affaire que tout autre terme technique, qui aurait l'inconvénient immédiat de conférer à l'être de a qui est F trop de structure ontologique. Par exemple, on pourrait parler de « la nature » de a comme particulier, mais le terme « nature » tend à signifier *ce qu'*est a, quelque chose qu'il possède et qu'il partagerait avec d'autres particuliers de même nature, et non aussi son existence distincte. Mais « ce

[37]Pour des discussions sur la relation de fondation (*grounding*), son univocité, sa primitivité, sa forme logique et sa connexion à l'explication métaphysique, voir (Bliss & Trogdon, 2016) et (Trogdon, 2013).

qu'est » un particulier est aussi et simplement le fait qu'il est, et donc qu'il existe en étant tel qu'il rend vrai ou faux tout ce qu'on pourrait affirmer de lui. Donc « ce que sont » les particuliers a, b, c, etc., ce sont simplement des « étants F », c'est-à-dire des êtres distincts qui sont F. Il faut concevoir un étant F exactement comme ce que désigne aussi le nominaliste lorsqu'il dit que ce qui rend vrai l'énoncé « a est F », c'est simplement l'existence du particulier a, étant ce qu'il est, F. Donc l'expression est conçue comme pouvant être utilisée à la fois par un nominaliste ou un réaliste, et sert de terrain d'entente initial.

Dans ce débat, l'avantage systématique des nominalistes vient de ce qu'ils peuvent toujours dire : nous rencontrons empiriquement que les particuliers a, b, c, etc. qui sont seulement des étants F, mais rien qui en feraient des instances de la même propriété F. Donc le réaliste *ajoute* de façon illégitime une propriété F, « en plus et au-dessus » (*over and above*) de ce que sont déjà les étants F particuliers. Donc on devrait évidemment apporter à la question (Q_1) une réponse négative : les particuliers a, b, c, etc., ne sont pas des instances de la même propriété F en vertu seulement de ce qu'ils sont. Pourtant, nous allons défendre une réponse positive à (Q_1). Mais pour y arriver, nous devons retirer au nominalisme son avantage intuitif systématique, qui repose tout entier sur l'idée qu'une propriété, si elle existe, s'ajoute à des particuliers qui sont donnés empiriquement, comme existant distinctement et par eux-mêmes. Sans remettre en cause cette présupposition, nous devrions certainement abandonner tout espoir d'affaiblir définitivement le nominalisme.

3.1.3. La particularité des particuliers empiriques n'est pas empirique.

Commençons par donner un aperçu de la démarche que nous allons suivre. De façon générale, nous soutenons que les nominalistes, en répondant à (Q_1) par la négative, font en réalité une présupposition ontologique très forte sur ce qui fait la particularité des particuliers empiriques : ils présupposent qu'ils sont des *individus*.

Caractérisons rapidement ces « individus », avant de les analyser en détail. Un individu est un particulier qui existe, et est ce qu'il est, sans être l'instance d'une entité non-particulière, comme une propriété. Évidemment, cette caractérisation fait de la réponse nominaliste à (Q_1) une conséquence simple et directe de la définition des individus, et de la présupposition que les particuliers empiriques sont des individus. Mais c'est précisément en cela que consiste notre stratégie générale : déplacer le conflit de la question de l'existence des propriétés vers celle de la conception des particuliers, car c'est ici que tout se décide. Ensuite, personne ne nierait, et certainement pas le nominaliste, que des individus divers sont le genre de choses qui sont capables d'exister et d'être ce qu'elles sont sans aucune propriété ou classe naturelle pour les rassembler. Même les réalistes des propriétés font cette présupposition, lorsqu'ils admettent que des particuliers peuvent exister sans entité ontologique supplémentaire, mais affirment que c'est pour rendre compte de leur ressemblance ou de leur nature qualitative commune qu'il faut enquêter sur les propriétés. En admettant que les propriétés ne sont nécessaires que pour fonder

la ressemblance ou la nature commune des particuliers, cette approche ratifie en réalité la même présupposition que le nominaliste. Être parvenu à faire accepter aux réalistes des particuliers a, b, c, etc. individuels est certainement la première et plus importante victoire du nominalisme.

Détaillons maintenant l'argumentation étape par étape. En premier lieu, nous admettons (1) qu'une diversité de particuliers qui sont F est empiriquement donnée. C'est une vérité empirique très forte que tout le monde, réalistes comme nominalistes, devrait accepter. Ensuite, bien que les particuliers soient empiriquement donnés, l'expérience ne suggère ni ne fournit aucune conception de la particularité. Nous soutenons en effet (2) qu'on doit rendre compte de la particularité des particuliers empiriques, et que cette particularité est l'objet d'une enquête et d'une hypothèse ontologiques, et non d'une vérité empirique. Ensuite, nous soutenons (3) que prendre les particuliers a, b, c, etc. pour des individus c'est opter en faveur d'une certaine analyse ontologique de la particularité au détriment d'une autre. Et (4) il apparaît que cette hypothèse nominaliste sur la particularité est précisément ce qui lui procure un avantage systématique face au réaliste, dans la configuration classique du problème des propriétés. Or, si les nominalistes ne peuvent répondre « non » à (Q_1) qu'en présupposant une analyse nominaliste de la particularité, alors (5) leur avantage apparent n'est pas du tout soutenu par des raisons empiriques et (6) nous sommes entièrement fondés à rejeter cette présupposition et proposer une analyse différente de la particularité des particuliers, qui conviennent mieux aux vues réalistes. Nous allons justifier ici les thèses (1) et (2), et les thèses (3) à (6) dans les prochaines sections.

Nous soutenons en effet que même si les particuliers divers sont donnés empiriquement (1), la conception que quelqu'un peut se faire de leur particularité n'est pas étayée par des raisons empiriques, mais ne peut faire l'objet que d'une enquête ontologique et hypothétique. Qu'appelons-nous une conception de la particularité ? Elle est une analyse ontologique de ce qui fait que des particuliers sont particuliers, et nous ne voulons dire par « particuliers » que pluriels et distincts. Donc toute analyse de la particularité doit rendre compte de ce qui fait la pluralité et la distinction, c'est-à-dire la distinction numérique, des particuliers a, b, c, etc. Elle doit donner le fondement ontologique de leur particularité. Or il est évident (2) qu'un tel fondement n'est pas donné avec les particuliers qu'on peut rencontrer dans l'expérience. Ils ne sont tout simplement pas fournis avec une conception de leur particularité.

Mais a-t-on besoin d'une telle conception ? On pourrait nier (2), en considérant que la distinction numérique des particuliers est une notion primitive associée à toutes les circonstances empiriques, une constante de toutes nos rencontres avec des particuliers, dont il n'y aurait pas à rendre compte. Nous répondons à cette objection en deux temps. Premièrement, si tout ce qui nous est donné empiriquement sont des êtres particuliers et distincts, personne n'est pour autant obligé d'interroger sa conception de la particularité, ni même, pour ce qui nous concerne, d'en défendre une. On peut très bien, dans la vie ordinaire, considérer divers particuliers sans chercher à comprendre le fondement ontologique de leur particularité. Donc l'exigence d'un tel fondement n'est pas une demande naturelle, mais réflexive. Et si une personne se défend d'avoir une quelconque conception de la particularité, bien

qu'elle rencontre quotidiennement une foule de particuliers, il se pourrait très bien qu'à l'examen elle n'accepte pas la conception nominaliste – elle peut d'ores et déjà passer au chapitre suivant, où elle trouvera une analyse non-nominaliste de la particularité.

Deuxièmement, on a le droit de n'avoir aucune conception de la particularité, sauf si on prétend faire de la philosophie, et en particulier, de l'ontologie. Admettons alors que c'est aussi ce que fait notre objecteur. Si, en plus de n'avoir aucune analyse de la particularité, il prétend pouvoir s'en passer (et refuser la nôtre) pour s'en tenir à une diversité empirique primitive de particuliers, il se rend alors vulnérable à des positions métaphysiques auxquelles personne ici, ni nominalistes ni réalistes, ne croit. Appelons par exemple « monisme » la position métaphysique qui soutient que malgré la distinction et pluralité *apparente* des particuliers, il n'y a pas plusieurs *êtres particuliers*, et que la réalité est une (une substance unique, à la Spinoza ou à la Bradley). Si on se refuse à toute analyse ontologique, pour fonder la particularité des particuliers rencontrés dans l'expérience, alors on n'a plus rien à répondre à une métaphysique moniste, qui affirme que les particuliers ne *sont* pas vraiment particuliers. Si, au contraire, les nominalistes et prennent comme nous cette diversité empirique des particuliers pour un fait mooréen, alors il faut défendre une authentique analyse ontologique de la particularité, capable de rendre compte de la diversité numérique des particuliers que nous croisons dans l'expérience. Tournons-nous maintenant vers la thèse (3), qui affirme que prendre ces particuliers pour des *individus* n'est qu'une analyse possible de la particularité.

3.2. Une différence non-qualitative au fondement de la distinction numérique.

Nous disions que rendre compte de la particularité est simplement identifier ce en vertu de quoi les particuliers a, b, c, etc. sont particuliers, c'est-à-dire des êtres distincts et pluriels. Une telle analyse est donc la réponse ontologique à la question (Q_2) :

(Q_2) Quel est le fondement ontologique de la distinction numérique des particuliers ?

Nous pensons que (Q_2) est la question décisive dans le débat sur l'existence des propriétés, qui oppose nominalisme et réalisme comme réponses antagonistes à (Q_1). Montrer que la position nominaliste part d'une très forte présupposition sur la nature de la particularité, qui n'est qu'une réponse possible à (Q_2), nous permettra de l'affaiblir considérablement.

Expliquons d'abord pourquoi (Q_2) est la question décisive, en revenant sur notre stratégie générale. Le problème des propriétés est de prouver qu'une entité non-particulière existe en plus des divers particuliers a, b, c, etc., qui sont tous F. Le réaliste est contraint d'expliquer comment il pouvait admettre et fonder l'existence d'une entité unique, la propriété « F », *malgré* la diversité des particuliers empiriques. Mais *le type de diversité* que l'on est disposé à admettre détermine justement le degré de

clarté ou de confusion associé à la nature et l'existence d'une propriété (c'est-à-dire d'une entité non-particulière). Au fond du privilège apparemment intuitif du nominaliste, nous trouvons en réalité une conception nominaliste de ce qui rend les particuliers a, b, c, etc. divers et distincts. Le nominaliste, en les concevant comme des individus, présuppose un fondement pour leur particularité qui lui procure un avantage considérable. C'est pourquoi nous explicitons la question (Q_2), afin de mettre au jour cette présupposition nominaliste qui n'est qu'une conception de la particularité[38].

Alors, quel est le fondement ontologique de la distinction numérique de a, b, c, etc. ? Deux réponses se présentent d'abord : (a) ces particuliers sont distincts parce qu'ils sont qualitativement distincts, ou (b) parce qu'ils localisés différemment dans l'espace-temps, ou occupent des régions spatio-temporelles distinctes. Examinons successivement ces deux réponses possibles.

3.2.1. Les distinctions qualitative et spatio-temporelle.

La première s'avère rapidement inadéquate. Nous disons que deux particuliers sont qualitativement distincts si et seulement s'il existe un prédicat G (qu'on peut supposer désigner une propriété rare) et qui est vrai de l'un et faux de l'autre. Dans un sens non analytique, mais seulement problématique de « propriété », deux particuliers sont qualitativement distincts lorsqu'ils ne partagent pas exactement les mêmes propriétés. Maintenant, si a et b devaient avoir au moins une propriété différente pour être numériquement distincts, alors on se situerait dans un monde leibnizien où le Principe d'Identité des Indiscernables (PII) est une vérité nécessaire. Or il est généralement admis que si PII est vrai, c'est une vérité seulement contingente et qu'une situation où deux particuliers sont qualitativement identiques, bien que numériquement distincts, est parfaitement possible[39]. Quoi qu'il en soit, quiconque défend PII porte le fardeau de la preuve : en mettant de côté les propriétés abondantes et en ne considérant qu'un particulier et ses propriétés rares, montrer en vertu de quoi ces mêmes propriétés rares *ne peuvent pas* être répétées ailleurs, en un autre particulier. En attendant, maintenons donc que a et b peuvent être numériquement distinct sans l'être qualitativement.

Nous définissons l'indiscernabilité de la façon leibnizienne classique, mais réduite au propriétés rares : deux particuliers sont indiscernables dès qu'ils ont exactement les mêmes propriétés rares (c'est-à-dire dès qu'exactement les mêmes prédicats, parmi les prédicats correspondant aux propriétés rares,

---

[38] Historiquement, il se trouve que cette question (Q_2) est à la racine de la conception moderne de l'individu. Le nominalisme apparaît au Moyen-Âge tardif avec les travaux d'Occam (en mettant de côté ses précurseurs du XIIème siècle, dont Abélard), mais Occam a été largement inspiré par les efforts de Dun Scot pour concevoir l'individuation. Scot était un réaliste des universaux, et croyait que les particuliers partagent effectivement des natures communes ou *essences*. Mais tandis que les essences fondent la communauté de nature entre particuliers, comment rendre compte du fait que la même nature apparaît plusieurs fois dans l'existence, et qu'une unique essence est le cas en divers endroits de l'espace et du temps ? C'est par cette question que Scot arrive à la notion des différences individuelles, et à l'haeccéité comme principe d'individuation.

[39] Voir (Black, 1952), ainsi que (O'Leary-Hawthorne, 1995) et (Zimmerman, 1997) sur le fait que la possibilité d'indiscernables contredit le critère d'individuation par les propriétés (*Bundle Theory of Substance*).

sont vrais d'eux deux). Si une variété de particuliers indiscernables est possible, comme on l'admettra, alors toute réponse que l'on doit donner à (Q_2) doit valoir pour des particuliers qualitativement indiscernables. Partons donc du principe que nos particuliers a, b, c, etc. sont indiscernables, bien que numériquement distincts.

La seconde réponse propose que a, b, c, etc. soient distincts en vertu de leurs localisations différentes dans l'espace, le temps ou l'espace-temps. Nous devons prendre garde ici à une possible confusion. La distinction spatio-temporelle est bien souvent conçue comme un équivalent pratique de la distinction numérique, parce qu'on pense couramment que les particuliers existent dans l'espace-temps et peuvent être énumérés dans l'espace-temps. Mais si nous devions identifier strictement les deux distinctions (numérique et spatio-temporelle), alors nous ne pourrions plus fonder l'une sur l'autre. Il est donc crucial de les bien séparer : la distinction numérique signifie que a, b, c, etc. peuvent être comptés et sont des êtres pluriels, alors que la distinction spatio-temporelle signifie qu'ils occupent différentes régions de l'espace-temps. Pourquoi ne pas fonder la première sur la seconde ?

Cela reviendrait à prendre la distinction spatio-temporelle pour le fondement de la particularisation. Maintenant, souvenons-nous que a, b, c, etc. sont indiscernables. Or, si nous fondons leur particularité sur le fait qu'ils possèdent des propriétés spatio-temporelles différentes, comme « occuper la région d'espace-temps R_a », « occuper la région d'espace-temps R_b », etc., alors ces propriétés les rendraient discernables, ce qui contredirait l'hypothèse et nous renverrait au monde leibnizien tout juste quitté, où deux particuliers sont toujours discernables par au moins leurs propriétés spatio-temporelles. Donc dans le cas où les localisations spatio-temporelles sont conçues comme des qualités, on ne peut plus concevoir une diversité de particuliers indiscernables qu'en imaginant une situation où ils sont empilés (*piled up*) à la même place dans l'espace-temps. Deux questions alors se posent. D'abord, pourquoi sommes-nous intuitivement réticents à envisager des particuliers indiscernables empilés, et préférons que des particuliers distincts occupent nécessairement des localisations distinctes d'espace-temps ? Deuxièmement, pourquoi pensons tout aussi intuitivement que la distinction spatio-temporelle n'est en réalité pas qualitative ?

3.2.2. Les différences non-qualitatives.

Les deux questions sont étroitement reliées, bien que distinctes. La première renvoie à ce qui est traditionnellement appelé l'« impénétrabilité » des particuliers numériquement distincts : s'ils sont deux et non un seul et unique particulier, alors ils ne peuvent pas se chevaucher dans l'espace-temps – nous y reviendrons plus loin. La seconde question pourrait offrir une voie de sortie hors de la difficulté : si la distinction spatio-temporelle n'est pas qualitative, alors on pourrait bel et bien fonder la distinction numérique sur une différence non-qualitative, qui ne rend pas les particuliers a, b, c, etc. discernables. Mais s'il est en effet très probable que les particuliers a, b, c, etc. soient distincts dans l'espace-temps,

il est tout aussi plausible que cette distinction spatio-temporelle ne soit pas le fondement général de leur particularité. Réservons donc notre appréciation définitive de cette hypothèse (la distinction spatio-temporelle comme la bonne différence non-qualitative), pour nous concentrer sur l'idée générale de différence non-qualitative.

Nous cherchons donc en réalité, pour fonder la distinction numérique, une différence tout à fait spécifique : une différence fondamentale qui pourrait faire de nos particuliers les êtres distincts qu'ils sont, sans les distinguer qualitativement. Nous appelons cette différence « non-qualitative », parce que ce qui est responsable de cette différence, qu'on le conçoive comme un objet ou bien une propriété, doit être non-partageable, donc non-qualitatif[40]. Cette notion est volontairement lâche, parce qu'elle peut concerner des différences ontologiquement très différentes. Deux sont facilement présentables. Nous pensons que les nominalistes identifient cette différence non-qualitative à une différence d'individus. Nous proposerons nous-mêmes, dans le chapitre suivant, une autre différence non-qualitative.

Dans quel sens une différence entre individus est-elle non-qualitative ? Revenons à la distinction spatio-temporelle. Le plus probable est de penser qu'elle est un *bon critère* pour la distinction numérique des particuliers, mais n'est pas non plus *son fondement* ontologique. La séparation dans l'espace et le temps est plutôt vue comme indiquant une distinction numérique qui est néanmoins fondée à un niveau plus fondamental. Pourquoi pense-t-on ainsi ? Ce n'est pas dénué de raison : si les localisations spatio-temporelles devaient être les fondements de la particularité et de la distinction numérique, alors, dirait-on, un particulier ne pourrait pas changer de localisation sans cesser d'être le particulier qu'il est, en devenir un autre. Mais on voudrait tout de même que les particuliers soient capables de se mouvoir dans l'espace sans devenir d'autres particuliers que ceux qu'ils sont.

Mais il y a une erreur dans ce raisonnement, où la distinction spatio-temporelle n'est pas seulement prise pour le fondement de la particularisation, mais aussi pour celui de l'individuation. Comme Campbell l'a bien montré, une confusion est ainsi souvent faite entre la particularisation et l'individuation, qui sont pourtant bien distinctes (référence). Quelle est la différence entre les deux ?

Une différence particularisante ne rend compte que de la distinction numérique de a, b, c, etc., c'est-à-dire le fait qu'ils soient divers et distincts. L'individuation d'un particulier désigne plutôt ce qui fait qu'il est *ce* particulier et aucun autre. Or deux particuliers indiscernables peuvent très bien être numériquement distincts, sans être individués. Peut-être n'y a-t-il rien qui fasse de chacun le particulier

---

[40] C'est précisément le sens où E. J. Lowe parle de « propriétés non-qualitatives » à propos des haecceités, ou d'« item non-qualitatifs » à propos des particuliers nus (Lowe, 2003). Il écrit : « Il semblerait que les haecceités, si elles existaient, seraient des propriétés non-qualitatives, puisque les qualités semblent, par nature, être partageables entre objets. Ceci pourrait rapprocher les haecceités des particuliers nus dont on a discuté plus haut, car ils sont eux aussi des items non-qualitatifs » (p. 88). Cette sorte de différence, non-qualitative, est précisément aussi ce que Leibniz refusait, quand il affirmait que tout particulier distinct devait être qualitativement distinct, et ce que Kant, contre Leibniz, voulait restaurer en parlant de « différence non-conceptuelle » (*Du premier fondement de la différence des régions dans l'espace* (1768), in (Kant, 1970)). Avant eux, Duns Scot avait déjà formulé l'idée d'une différence « non-quidditative », afin de fonder la distinction numérique entre particuliers qui sont qualitativement indiscernables (Duns Scot, 2005).

qu'il est, et peut-être qu'ils sont échangeables sans que leur échange n'engendre un monde numériquement distinct[41]. Si des particuliers indiscernables sont non seulement numériquement distincts mais aussi individués, alors le fait que chacun soit *ce* particulier et aucun autre est ontologiquement fondé. L'individuation est donc un fait ontologique distinct de la particularisation. Alors il y a deux cas à envisager, selon que l'individuation joue elle-même le rôle de la particularisation, ou bien que la distinction numérique survienne seulement sur une différence d'individus.

C'est avec la seconde possibilité que nous revenons à la distinction spatio-temporelle, dans son rôle strictement particularisateur. On pourrait en effet considérer que les particuliers sont numériquement distingués par leurs localisations spatio-temporelles mais individués à un niveau plus fondamental. Cette individuation ne fonderait pas directement la distinction numérique mais délèguerait ce pouvoir à la distinction spatio-temporelle. Mais on devrait alors rendre compte de cette hiérarchie de fondation ontologique à trois niveaux, où l'individuation fonde la particularité par l'intermédiaire de l'existence dans l'espace et le temps – et c'est exactement ici que réapparaît la vertu d'impénétrabilité. Divers particuliers sont considérés comme distincts en vertu du fait qu'ils occupent des régions différentes de l'espace-temps, mais cela présuppose que deux particuliers ne peuvent pas se chevaucher dans l'espace-temps. Cette impénétrabilité devrait donc être fondée sur un principe auxiliaire, énonçant que deux particuliers ne peuvent pas occuper la même région, mais peuvent échanger les régions qu'ils occupent sans devenir l'un l'autre. Mais nous ne voudrions pas rentrer plus avant dans ces sophistications, qui nous reconduisent visiblement de toute façon, à l'individuation.

Envisageons donc que les particuliers a, b, c, etc. sont distincts numériquement en vertu du fait qu'ils sont des individus distincts. C'est là, pensons-nous, le cœur de la réponse nominaliste à (Q_2). Ce qui fonde la distinction numérique de a, b, c, etc. malgré leur indiscernabilité est le fait que l'un est *ce* particulier-*ci*, l'autre est *ce* particulier-*là*, et que chacun est le particulier qu'il est et aucun autre. Ils sont distincts numériquement parce qu'ils sont fondamentalement des individus différents. Appelons cette thèse la Présupposition Nominaliste (PN). Nous soutenons donc (3) que (PN) n'est qu'une réponse, peut-être correcte, à (Q_2). Elle n'est qu'une façon de fonder ontologiquement la distinction numérique des particuliers qui sont F. Continuons alors de construire notre argument, en donnant des raisons de ne pas accepter (PN) malgré sa plausibilité apparente.

---

[41]Il y a aujourd'hui d'intenses discussions autour de « l'objection de l'échange » (*swapping objection*) formulée contre certaines analyses de la particularité ou de l'individualité des tropes (Armstrong, 1989, p. 131). Or cette distinction conceptuelle entre la particularisation et l'individuation est la condition pour pouvoir parler « d'échange ». Si ce qui faisait que deux particuliers sont particuliers était aussi ce qui faisait qu'ils sont précisément les particuliers qu'ils sont (comme le pense le tenant de l'analyse spatio-temporelle de *l'individuation*), alors l'objection de l'échange ne fonctionnerait plus. Pour qu'elle constitue une réelle objection, il faut que l'échange créé une situation problématique d'indiscernabilité entre particuliers pourtant individuellement distincts. Pour cela, il faut que ces particuliers soient individués à un autre niveau que celui où ils sont particularisés.

3.3.L'individualité et le problème des propriétés.

Nous allons maintenant expliquer nos raisons de ne pas adopter (PN), qui est à l'origine de l'avantage nominaliste dans le débat sur la réalité des propriétés. (PN) devra alors cesser de nous apparaître comme une évidence intuitive, car qu'elle n'est rien d'autre qu'une hypothèse ontologique sur le fondement de la distinction numérique.

(PN) n'est pas une vérité empirique. Nous observons, nous touchons, nous sentons des particuliers, mais ne percevons pas la « particularité » en tant que telle, c'est-à-dire le fondement ontologique de leur distinction numérique. En adoptant (PN), le nominaliste, loin de s'en tenir à l'expérience, fait de la métaphysique. Bien sûr, (PN) peut très bien être vraie, mais nous offrirons dans le chapitre suivant une autre analyse de la particularité.

Il existe néanmoins une façon d'affaiblir (PN) qu'il faut mentionner, que l'on doit à Donald Williams. Il propose lui-même une analyse ontologique concurrente de la particularité, et soutient qu'elle est plus adéquate à l'expérience. Selon lui, nous ne faisons pas d'abord l'expérience de masses concrètes et individuelles (*concrete individual bulk*), mais plutôt des aspects abstraits de ces individus, qu'il appelle les *abstracta* (*cf* chapitre I section 2.2.). Pour l'heure, nous n'allons pas comparer différentes analyses de la particularité en fonction de leur adéquation à l'expérience. Il nous suffit de remarquer sur si une telle comparaison est possible, cela implique clairement que (PN) n'a rien d'intuitif ou d'empiriquement privilégié. Elle est simplement une hypothèse ontologique sur la particularité, qui est devenue si courante qu'elle passe pour évidente. Mais nous pouvons en réalité tout à fait ne pas l'admettre pour des raisons *a priori*. En effet, (PN) n'est pas non plus n'importe quelle analyse ontologique du fondement de la particularité : nous pensons qu'elle est impliquée dans la facilité avec laquelle le nominaliste répond négativement à la question (Q_1), et dans l'avantage systématique dont il jouit sur le réaliste dans le débat sur la réalité des propriétés.

3.3.1. Individualité et identité.

Avant d'y venir, il sera utile d'expliquer brièvement ce que nous entendons par « individualité » et son lien avec l'identité. Que a, b, c, etc. existent et sont ce qu'ils sont, signifie maintenant, sous la présupposition (PN), qu'ils sont fondamentalement *ces* étants F et aucun autre. Prendre les particuliers pour des individus revient donc à faire de l'« être identique à soi-même » le sens le plus fondamental d'être. Être *cet* étant F est quelque chose de plus déterminé qu'être simplement *un* étant F particulier. Car cela signifie avoir quelque chose qui fonde le fait d'être *cet* étant F : une *épaisseur* individuelle qui le distingue de tout autre étant F, et que nous appelons « individualité ».

Bien sûr cette épaisseur individuelle qui donne à tout particulier sa « *ceci*-ité » (*thisness*) a été diversement étudiée au cours de l'histoire. Duns Scot fondait les différences entre individus sur les faits

primitifs de l'identité des individus à eux-mêmes et à aucun autre (Duns Scot, 2005). Il appelait ce fondement *l'haeccéité*, qui est la « *ceci*-ité » utilisée comme principe primitif d'individuation. Plus récemment, (Adams, 1979) a repris l'idée scotiste d'une haeccéité primitive : un particulier est un individu en vertu du fait qu'il possède quelque chose qui en fait *ce* particulier et aucun autre. Adams proposait alors d'identifier cette haeccéité, par exemple du particulier a, à la propriété non-partageable « être identique à a ». En vertu du fait que a est le seul particulier à posséder cette propriété, a est *cet* étant F particulier et aucun autre étant F. Mais les idées de Duns Scot et Adams ne sont que des analyses possibles de l'individualité parmi tant d'autres. Mentionnons simplement la théorie aristotélicienne de la substance (*ousia*). Une substance n'est pas une propriété, mais un objet censé fonder ontologiquement à la fois le fait qu'un particulier soit ce qu'il est (*ti esti*) et le fait qu'il soit *celui-ci* (*tode ti*). Mais nous n'avons pas besoin de donner autant de corps à la notion d'individualité que nous utilisons ici, et en particulier pas de décider si elle consiste en une propriété (comme une haeccéité) ou un objet (comme une substance)[42]. Nous retenons simplement que parler d'individualité est équivalent à parler d'un fait, ontologiquement fondé, d'identité à soi-même.

Or ce lien entre individualité et identité peut motiver une objection contre notre troisième thèse, selon laquelle (PN) n'est qu'une manière de rendre compte de la particularité. L'individuation n'est-elle pas, bien plus, une catégorie nécessaire *pour fonder* la vérité des énoncés d'identité ? Si (PN) est ainsi justifiée, alors nos raisons pour ne pas l'adopter sont affaiblies avant même d'être exposées. Nous devons prévenir à l'avance cette objection, si nous devons repousser (PN).

Pour cela, nous séparons strictement, pour les termes « individu » et « identité », leurs significations logiques de leurs significations ontologiques. Deux individus logiques, c'est-à-dire deux objets désignés par deux constantes logiques distinctes « a » et « b », sont identiques (ou distincts) si et seulement si l'énoncé « a = b » est vrai (ou faux). Ces énoncés d'identité ont des conditions de vérité simples : « a = b » est vrai toutes les fois que a et b sont un seul objet, et faux lorsqu'ils sont numériquement distincts. Nous voyons donc qu'à ce niveau sémantique, identité et distinction signifient identité et distinction *numériques*. C'est une tout autre question que d'interroger, maintenant, l'ontologie derrière la sémantique – comme précisément le fait (Q_2). Quel est le fondement ontologique en vertu duquel ces conditions de vérité sont satisfaites et réalisées, et deux particuliers a et b un seul ou plusieurs ? Le leibnizien, par exemple, répondra que l'identité sémantique est fondée sur le partage d'exactement toutes les mêmes propriétés. (PN) propose de fonder la distinction numérique différemment, sur des différences entre individualités. Elle n'est qu'une proposition parmi d'autres.

Pourtant, on pourrait nous répondre que l'identité n'est pas seulement l'identité *numérique*. « Être identique avec » n'est pas seulement « être un seul et unique », mais aussi « être le même ». Demander, par exemple, si Dr Jekyll et Mr Hyde sont le même particulier, ou deux êtres distincts, n'est

[42] Pour toutes ces analyses, voir (Lowe, 2003).

pas seulement demander s'ils sont un ou deux. C'est demander s'ils sont le même individu ou deux individus différents ; c'est poser ce qu'on peut appeler une question *d'identification*. « Ce particulier est Dr Jekyll, et non Mr Hyde » serait un énoncé d'identification. Or, demander que les énoncés d'identification soient ontologiquement fondés, c'est réclamer bien plus que des conditions de vérité pour les énoncés d'identité. C'est demander le fondement ontologique du fait qu'un particulier soit ce particulier et aucun autre, c'est donc présupposer que tout particulier est le particulier qu'il est, celui-ci et aucun autre – où nous reconnaissons la présupposition nominaliste (PN). On peut très bien dire, au contraire, que les énoncés d'identification ont des conditions de vérité sans aucun fondement ontologique. Par exemple, ces énoncés peuvent seulement se référer à des règles conventionnelles d'étiquetage des particuliers, qui seraient spécifiées dans un métalangage. On peut donc nier que tout particulier possède en propre son individualité – c'est ce que nous ferons au chapitre suivant.

En présupposant que tout particulier est un individu ontologique, c'est-à-dire possède son individualité propre, le nominaliste porte donc une hypothèse ontologique très forte. Nous allons maintenant donner une raison de ne pas l'adopter.

3.3.2. Pourquoi nous de devrions pas adopter (PN) : le piège nominaliste.

Dans la section 3.1, nous avons caractérisé les individus comme des particuliers qui peuvent exister sans qu'existe, en plus et au-dessus d'eux, une entité non-particulière comme une propriété. Maintenant, nous caractérisons l'individualité comme une sorte de différence non-qualitative, qui fonde la distinction numérique, dans l'esprit d'un nominaliste. Quel est le lien entre ces deux caractérisations ?

La seconde est l'analyse nominaliste de la pluralité des particuliers. La première est la raison pour laquelle les nominalistes nient si facilement l'existence d'une propriété, partagée par divers particuliers indiscernables. Nous allons maintenant montrer qu'une réponse claire à (Q_1) dépend en réalité d'une décision sur l'ontologie de la particularité interrogée par (Q_2), en soutenant (4) que (PN) est précisément au fondement de la configuration traditionnelle du problème des propriétés, où les particuliers sont capables d'exister et d'être ce qu'ils sont sans qu'existe une propriété dont ils seraient les instances ; c'est-à-dire de la configuration qui donne un avantage systématique aux nominalistes. Ensuite, nous soutiendrons qu'en tant que réalistes, nous devrions prendre garde en formulant le problème des propriétés à ne pas laisser passer une analyse de la particularité qui équivaut à une reddition devant le nominalisme.

Pour le dire intuitivement, concevoir les particuliers comme des individus modifie profondément notre compréhension de leur être. Cela détermine ce que c'est pour eux que d'exister et d'être ce qu'ils sont comme particuliers. Ce que a est, maintenant, n'est plus seulement un étant F ; exister et être F devient fondamentalement être *cet* étant F et aucun autre. Mais cette « *ceci*-ité » ne peut que désigner ce qu'ils ont de plus intime et singulier, et qui les fait exister et être ce qu'ils sont

entièrement *par eux-mêmes*, et qu'on appelle « individualité ». Comme ils sont par eux-mêmes, ils sont sans qu'existe aucune propriété dont ils seraient les instances. Expliquons cela en détail.

En suivant (PN), en effet, on admet que les particuliers a, b, c, etc., sont numériquement distincts parce qu'ils sont individuellement différents. Chacun est individuellement F, car a est *cet* étant F, et b *cet autre* étant F, etc. Donc « ce qu'ils sont en tant que particuliers » signifie maintenant « ce qu'ils sont individuellement », et ils ne peuvent absolument plus, en vertu de cela seulement, être instances d'une même propriété F. Des étants F individuels peuvent très bien exister et être F sans être instances de la même propriété F. Mais pourquoi en est-il ainsi ? En effet, être un individu (au sens ontologique) implique d'avoir cette sorte d'identité épaisse qui fait d'un étant F *cet* étant F et aucun autre. En suivant (PN), c'est ce dont a besoin tout étant F particulier pour être réellement particulier, distinct numériquement des autres indiscernables : fondamentalement identique avec lui-même. Or, il s'ensuit que la seule chose dont *cet* étant F a peut être une instance, en vertu seulement de ce qu'il est, c'est de *lui-même*. Chaque étant F, parce qu'il est *cet* étant F individuel, est en vertu seulement de ce qu'il est, instance de « être *cet* étant F », et c'est tout. Le particulier a instancie « être *cet* étant F a », le particulier b « être *cet* étant F b », etc. Cela signifie en réalité deux choses.

Premièrement, cela veut dire qu'on peut très bien s'accorder sur l'existence des particuliers (ce que font nominalistes et réalistes) et de surcroît partager une même notion de leur particularité, sans avoir la moindre idée de l'existence et de la nature de propriété putative. C'est véritablement la grande victoire du nominalisme de faire accepter ceci à tout le monde, qu'il faut séparer ainsi l'analyse ontologique de la particularité de l'analyse de ce dont ils sont les cas particuliers. C'est précisément sur cette séparation des questions que nous voulons revenir, en n'admettant pas (PN), et en offrant à sa place une analyse des particuliers comme étant des cas particuliers de propriété(s) (au chapitre III).

Deuxièmement, ceci a une conséquence plus précise pour le réaliste. En considérant maintenant plusieurs étants F qui sont individuellement différents, tout ce dont ils sont des instances immédiates sont leurs individualités (qu'on prenne encore une fois ces individualités pour des objets, comme des types, ou des propriétés non-partageables, comme les haeccéités primitives). Cet étant F est instance de « être *cet* étant F » et de rien d'autre. Naturellement, un esprit réaliste tendrait à dire qu'ils ont quelque chose en commun, mais c'est là que le piège nominaliste fonctionne si bien. Ils ne sont que des étants F individuels. Si on souhaite voir en eux non plus leur singularité individuelle, mais cet aspect apparemment commun par lequel ils se ressemblent, « être un étant F », cela présuppose que ces individus ont une nature commune, qui apparaît dans des aspects abstraits et qualitativement identiques de ces individus : leur « être un étant F », qu'il resterait à analyser ontologiquement, comme universel ou classe de tropes. C'est alors supposer quelque chose comme une propriété, *en plus et au-dessus* des particuliers déjà existants. C'est donc avaliser la distinction entre le particulier comme tout concret et ses aspects abstraits ou sa nature, c'est donc prêter une structure ontologique à des individus qui n'en avaient pas au départ.

Maintenant le piège est parfaitement visible : si les particuliers devaient être individuellement distincts, alors toute tentative pour leur conférer quelque chose comme une nature commune reviendrait à ajout ontologique. Nous serions fatalement conduits où le nominalisme veut nous mener : dans une situation où nous avons à *ajouter* aux particuliers, donnés empiriquement, quelque chose comme une propriété pour rendre compte de la structure ontologique qu'on leur prête.

C'est pourquoi nous, réalistes, devrions refuser de prendre les particuliers a, b, c, etc. pour des individus dans le sens ontologique du terme. Si nous entrons dans le débat avec le nominalisme, sur la nature et l'existence des propriétés, alors nous avons le droit de repousser toute présupposition qui donnerait à notre adversaire un avantage systématique, comme le fait (PN). Nous admettons totalement, avec le nominaliste, qu'il y ait des particuliers, et qu'ils nous sont empiriquement donnés sans propriétés ou classes naturelles, et nous essayons de montrer, contre lui, que ces entités existent, et comment il faut les concevoir. Mais dans ce but, nous refusons toute interprétation du problème qui serait contraire au but que nous poursuivons. Or, si les nominalistes ne répondent « non » à (Q_1) avec autant d'aisance qu'en raison d'une présupposition comme (PN), il s'ensuit (5) que le scepticisme raisonnable des nominalistes à l'égard d'entités non-particulières n'est tout simplement pas empiriquement étayé, et que (6) nous sommes fondés à rejeter (PN) comme terrain d'entente entre eux et nous. Nous avons le droit de proposer une hypothèse ontologique concurrente sur la particularité et le fondement de la distinction numérique, qui n'hypothèque pas définitivement le bien-fondé de la position réaliste.

Nous allons proposer, dans le chapitre suivant, une nouvelle conception de la particularité, qui nous permettra de répondre « oui » à (Q_1) : les particuliers a, b, c, etc. sont, en vertu seulement de ce qu'ils sont, des instances d'une même propriété F. C'est le principal enseignement de cette discussion : dans le débat sur l'existence des propriétés, ce qui est vraiment décisif est l'analyse ontologique sous-jacente de la particularité. Une fois cette analyse choisie, une fois qu'on a rendu compte du fondement de la distinction numérique des particuliers, alors la réponse à (Q_1) est en grande partie déterminée. Le débat sur l'existence des propriétés est donc fondamentalement un antagonisme silencieux entre conceptions de la particularité. Évidemment, notre réponse au problème existentiel des propriétés ne vaut qu'autant que notre analyse de la particularité. Il restera donc ensuite la tâche de justifier cette analyse par de solides raisons, et de montrer que les particuliers correspondent effectivement à cette analyse. C'est ce que nous ferons à partir du chapitre IV. Néanmoins, nous sommes d'avis que défendre une proposition métaphysique est plus aisé, voire plus faisable, lorsqu'elle porte sur les particuliers plutôt que sur des entités qui existeraient « en plus et au-dessus » d'eux. Maintenant, nous réalistes n'avons plus à prouver que quelque chose s'ajoute à ce que sont déjà les particuliers, pour prouver que les propriétés existent. Nous n'avons qu'à défendre une théorie de la particularité contre une autre. Nous avons ramené le débat sur terre, c'est-à-dire au seul endroit où il peut être remporté.

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mesuré la place centrale qu'il faut accorder à la notion d'abstractivité dans l'ontologie des propriétés. En premier lieu, dans la résolution du problème des propriétés, nous avons vu qu'elle allait nous permettre de bloquer la régression ontologique qui menace toujours les solutions réalistes, qui rendent compte de ce qu'ont en commun divers particuliers. Ce sera notre point de départ pour le prochain chapitre.

En deuxième lieu, la notion d'abstractivité nous a permis de critiquer la première forme de nominalisme. Le nominalisme analytique accepte le problème des propriétés, mais propose de le résoudre sans postuler d'entité non-particulière, ni quoique ce soit d'autre que des individus. Mais nous avons montré, premièrement, que le caractère primitif des faits de ressemblance engendrait la même régression ontologique que chez les réalistes des universaux – sauf à admettre des tropes de ressemblance, ce qui contredit le cadre nominaliste. Et surtout – c'était notre seconde critique, le nominalisme ne peut pas être analytique (et prétendre résoudre le problème des propriétés) sans faire de la ressemblance une relation entre des aspects abstraits des individus plutôt qu'entre les individus pris globalement, ou bien prêter à la ressemblance une épaisseur intentionnelle. D'une façon ou de l'autre, un fait de ressemblance ne peut être pris pour un fait objectif, n'être une ressemblance objective entre deux objets, qu'en présupposant une abstractivité.

En dernier lieu, la notion d'abstractivité nous a permis de mettre en relief la teneur propre de la seconde forme de nominalisme. Ce « nominalisme de l'autruche » selon ses détracteurs réalistes, refuse dans son ensemble le problème des propriétés, par un geste déflationniste : le même prédicat F est véridiquement applicable aux divers particuliers a, b, c, etc. tout simplement parce qu'ils sont tous F. Et l'énoncé « Ils sont tous F » ne signifie rien de plus que la conjonction des divers énoncés particuliers « a est F », « b est F », etc. Il n'y a besoin de rien d'autre pour que le même prédicat soit véridiquement applicable. Il joint à ce déflationnisme sémantique un déflationnisme ontologique. Toute hypothèse qui ajoute à ce que sont déjà les individus a, b, c, etc. des entités non-individuelles (classes de tropes ou universaux) est par avance douteuse, dans la mesure où il n'y a rien, dans ce que sont ces individus a, b, c, etc., qui fonderait le fait qu'ils soient instances d'une entité comme une propriété F.

Or, lorsqu'on imagine divers particuliers indiscernables, qui sont par exemple tous F, et qu'on les conçoit comme des *concreta* individuels, c'est qu'on fonde leur diversité sur leurs différences d'individualités. Mais nous pouvons très bien ne pas faire cette hypothèse sur la nature de la particularité. Nous allons montrer, dans le prochain chapitre, qu'en concevant les particuliers comme des particuliers abstraits (comme les tropes), et en abandonnant l'importance ontologique de la notion de ressemblance (c'est-à-dire le postulat RFP), nous pouvons construire une théorie de la particularité abstraite qui rend tout aussi bien compte de la diversité des particuliers, tout en autorisant une solution réaliste au problème des propriétés.

Chapitre III : Théorie des déterminations et variations quantitatives

Dans ce chapitre, nous présentons nos solutions à ce que nous avons appelé, dans ce qui précède, le problème métaphysique des propriétés génériques :

(PM) Comment concevoir un vérifacteur commun à des énoncés qui attribuent un même prédicat générique à des particuliers distincts ?

On se rappelle aussi que ce problème, formulé en termes vérifactionnels, pouvait aussi se dire en termes ontologiques :

(PO) Comment concevoir la propriété générique F commune à des particuliers distincts ?

Mais on se souvient également que (PO) était couramment interprété comme le problème de rendre compte des faits objectifs de ressemblance entre les particuliers, c'est-à-dire de concevoir *une pluralité de cas identiques qualitativement*. Sous cette contrainte de ressemblance, l'ontologie des vérifacteurs des vérités génériques se retrouvait dans une impasse. Les deux théories candidates, les tropes et les états de choses échouaient car il semblait impossible de tenir ensemble l'abstraction et la diversité des cas particuliers. Nous allons maintenant lever cette contrainte : pour avoir une classe de cas particuliers divers auxquels s'applique véridiquement un *même* prédicat (PM), il faut abandonner l'idée que ces cas se *ressembleraient* qualitativement. Si l'on désigne par « propriété générique » ce qui rend compte, dans la réalité des particuliers, de la possibilité de l'application véridique du prédicat générique, alors ce n'est certainement pas quelque chose d'identique à travers ses instances (universel), ni une classe d'instances particulières exactement ressemblantes (tropes). Alors qu'est-ce ?

Notre but dans ce chapitre est de présenter les thèses des déterminations et des variations quantitatives (DQ et VQ), en montrant comment elles résolvent le problème des propriétés génériques. Nous exposerons notre solution en deux étapes. Premièrement, pour résoudre le problème de la *distinction* des instances de propriété générique, nous présenterons la thèse (DQ) des *déterminations quantitatives* (section 1.). Ensuite, pour nous attaquer à l'autre branche du problème, celui de l'abstraction qui fait que les divers particuliers sont des instanciations d'une *même* propriété, nous présenterons la thèse (VQ) des *variations quantitatives* (section 2.). Nous formulerons alors en faveur de la théorie formée par ces deux thèses un argument vérifactionnel : cette théorie sera défendue comme la seule façon de satisfaire conjointement les deux conditions ontologiques portant sur les vérifacteurs

des attributions multiples, et de résoudre ainsi le problème des propriétés génériques (section 3.). Enfin, dans la section 4., nous répondrons à la principale objection que peut soulever la théorie DVQ : le problème de la *distinction solo numero*.

1. La thèse des déterminations quantitatives (DQ).

Comme on va s'en apercevoir, la thèse DQ peut choquer nos intuitions sur les propriétés et ce que sont leurs instanciations. C'est pourquoi nous devons prendre le temps nécessaire pour la présenter, avant de la défendre. Nous commençons par la présenter comme une thèse sur la nature de la particularité (1.1.), puis comme une théorie des tropes quantitatifs (1.2. et 1.3.), avant d'exposer le concept des déterminations quantitatives en tant que tel (1.4.). Enfin, nous expliquerons en quoi elle permet de résoudre le problème de la distinction entre instances de la même propriété (section 1.5.).

1.1.DQ est une thèse sur la particularité.

Les deux théories que nous avons confrontées, les tropes et les états de choses, portent avec force des thèses différentes sur ce que c'est que d'être *l'instance particulière* d'une propriété générique. Pour le partisan des tropes, c'est être un particulier abstrait membre d'une classe de ressemblance exacte. Pour le tenant des universaux, c'est être un état de choses formé par un « lien non-relationnel » (un fait primitif d'instanciation) entre un particulier fin et un universel. Dans cette section sur les déterminations quantitatives, nous allons présenter notre théorie de l'instanciation, c'est-à-dire l'ontologie du particulier en tant qu'instance particulière d'une propriété générique. Elle devra, ensuite, être complétée par un réponse à cette autre question : qu'est-ce, pour un particulier, que d'être une instance particulière *d'une même propriété* que d'autres ? Ce sera le rôle de la section suivante sur les variations quantitatives.

L'ontologie de la particularité que nous proposons est une thèse sur ce que c'est que d'être un particulier, en tant que ce particulier est instance d'une propriété générique. Autrement dit, nous mettons entièrement de côté les particuliers qui ne sont pas concernés par les prédicats génériques. Tout particulier dont on ne peut rien affirmer véridiquement *qui ne soit vrai que de lui* tombe par hypothèse en dehors du champ de cette ontologie. Ce choix peut paraître arbitraire, et doit sembler contestable pour qui nourrit des idées strictement nominalistes. Mais il est doublement motivé. Premièrement, nous ne savons pas, pour notre part, si la *connaissance* d'un particulier singulier est seulement possible. Il se pourrait très bien qu'il n'y ait pas de connaissance discursive possible autrement que par l'application de prédicats génériques. Les singuliers pourront alors très bien faire l'objet d'une connaissance par acquaintance (Russell, 1959, ch. 5), cela ne nous concerne pas.

Deuxièmement et surtout, il nous semble que les sciences naturelles réclament une ontologie où les particuliers sont conçus comme des cas de propriétés génériques. Il n'y a probablement aucun

particulier absolument singulier dans la nature, telle que les scientifiques la *connaissent*. On peut détecter avec un instrument un *certain* électron, isolé par des coordonnées d'espace et temps qu'il est le seul à posséder, ou par un effet causal précis qui manifeste sa présence, mais il n'est connu comme électron, et non seulement détecté comme quelque chose qui existe là, que s'il est déterminé comme *un* électron, c'est-à-dire un particulier d'une sorte qui en contient d'autres. On peut bien mesurer une courbure précise en un point singulier de l'espace-temps, mais elle n'est connue qu'en tant que cas particulier d'un paramètre entrant dans les équations d'Einstein. On peut enfin désigner une planète par un nom propre (« Terre ») ou par une description définie (« La troisième planète du système solaire »), on dépasse les seules désignation ou description dès qu'on l'appréhende comme cas particulier d'un type bien défini de corps céleste, les « planètes ». Il n'y a certes point de science que du général, mais nous connaissons les particuliers seulement comme instances de propriétés génériques. Ainsi, notre théorie de la particularité sera guidée par une maxime, directement issue de la nature de la connaissance scientifique : *« Tout particulier est un cas particulier (d'une propriété générique) ».*

Comme on le comprend après le chapitre II, les particuliers tels que nous allons les analyser ne sont pas non plus des individus, au sens ontologique du terme. Comme telle, l'idée de particuliers non-individuels n'est pas nouvelle et a déjà été proposée en métaphysique des sciences, pour traiter le cas des particules élémentaires indiscernables en mécanique quantique (French & Krause, 2006), mais aussi celui des quantités déterminées de matière (comme le montrent (Zimmerman, 1995) et (Lowe, 1998) ch. 3). Mais l'analyse que nous allons présenter se veut plus générale, puisqu'elle est une analyse ontologique de la particularité, et ne concerne donc pas seulement certaines sortes très spécifiques de particuliers, mais tous les particuliers considérés comme instances de propriétés génériques. Bien évidemment, nous traitons toujours des propriétés rares, qui sont très certainement de toute façon celles décrites par la physique fondamentale (Armstrong, 1978a, p. XIII). Par conséquent, le périmètre de notre analyse de la particularité ne dépasse pas celui de ce qu'on peut appeler les « particuliers fondamentaux », c'est-à-dire les particuliers qui, dans le monde actuel, sont des cas particuliers des propriétés rares décrites par la physique fondamentale. Notre théorie ne s'applique peut-être pas du tout aux objets macroscopiques, et évidemment pas aux particuliers qui, comme des personnes ou même des organismes vivants, sont jusqu'à preuve du contraire des individus.

1.2.DQ est une théorie des tropes quantitatifs.

Nous devons donc concevoir ce que c'est que d'être un cas particulier, une instance de propriété générique. Pour cela, nous allons partir de la théorie des tropes, qui propose selon nous une vision des choses bien plus proche de la réalité connue scientifiquement.

1.2.1. L'originalité de la théorie des tropes.

En ayant en vue notre problème des propriétés, partir des tropes présente un avantage pragmatique. En effet, les tropes sont des aspects particuliers et *abstraits*. En partant d'eux, nous présupposons donc l'abstraction : nous nous donnons le droit de considérer une pluralité de cas *d'une même propriété*, et nous pouvons sereinement chercher à rendre compte de leur particularité (et donc de leur distinction). En partant des tropes, nous pouvons faire face au problème pur de la particularité. Une fois celui-ci résolu, nous pourrons lever la présupposition de l'abstraction pour en rendre compte directement. Surtout, les tropes nous semblent relever d'inspirations métaphysiques d'une très grande originalité, absolument non-miscibles aux approches traditionnelles de la réalité des particuliers en termes d'individus concrets et de propriétés possédées par eux. Donald Williams a très bien perçu que les tropes formaient l'ontologie réclamée par la science moderne, depuis la révolution galiléenne :

> Si l'on regarde les choses sans les présupposés traditionnels, l'existence des *abstracta* [des tropes, dans le vocabulaire de Williams] semble aussi patente que possible. Il y a quelque ironie dans l'archaïsme avec lequel les nouveaux nominalistes abhorrent pieusement les entités abstraites, en faveur de ce « préjugé du sens commun recouvert d'expressions pédantes » (Russell, History of Western Philosophy, p. 163), le dogme d'Aristote selon lequel il n'y a pas d'étant réel sinon les « substances premières », les individus concrets, qu'ils prennent pour les unités absolues et « essentielles », et donc tournent le dos à l'une des plus grandes intuitions de la Renaissance : la primauté apparente de ces épais objets macroscopiques est un effet de l'échelle où nous situe notre propre taille, et de nos intérêts pratiques. Les grandes philosophies modernes ont plutôt cherché le réel dans les « natures simples » putatives à une extrémité de l'échelle, et dans le vaste et unique océan de l'action à l'autre. (Williams, 1953, p. 15)

Mais Williams n'a pas cherché à expliquer ce qui faisait ainsi des tropes la catégorie ontologique nécessaire au réalisme scientifique attachée à la science nouvelle qui apparaît à la Renaissance et à l'époque moderne. Au cœur de cette révolution dans la conceptualisation scientifique de la nature, il y a la mathématisation des phénomènes, c'est-à-dire l'application des mathématiques aux phénomènes naturels auxquels on confronte expérimentalement les théories. Nous pensons que si les tropes sont la catégorie ontologique première pour fonder le réalisme scientifique, c'est parce qu'ils sont le cadre dans lequel peut être résolu le problème des propriétés génériques, *et ne le sont que si on les conçoit comme tropes quantitatifs.* Les tropes quantitatifs sont l'alphabet de l'être tel que le connaît la science moderne : c'est en gardant cette thèse à l'horizon qu'il faut aborder les développements plus précis qui vont suivre. Quelle est l'extrême originalité métaphysique des tropes ?

Traditionnellement, la théorie des tropes est reçue comme une analyse des propriétés. Contre le nominalisme, et avec la théorie des universaux, elle admet la réalité des propriétés, et rend compte du

fait que divers particuliers*[43] partagent une nature commune en postulant une entité non-particulière* dont ils sont des cas, c'est-à-dire une propriété. Mais, contrairement à la théorie des universaux, elle ne prend pas cette propriété pour une unique entité, mais pour une classe de particulier**, appelés « caractères » (Stout), « propriétés instanciées » ou « occurrences de propriétés » (Campbell), ou encore *abstracta* (Williams), qui sont de nature différente des individus nominalistes. Pour un tenant des universaux, être un cas de la propriété F est analysé comme le fait d'instancier un universel F. Pour un théoricien des tropes, un particulier* est un cas de la propriété F s'il a un aspect abstrait (un trope) qui, lui, est membre d'une classe naturelle de particuliers** abstraits. Donc la propriété F n'est pas une entité non-particulière* unique, mais simplement une classe de particuliers** abstraits, et « être un cas de F » signifie être membre de cette classe naturelle.

Cependant, nous soutenons que la théorie des tropes n'est pas qu'une analyse des propriétés, mais a un sens ontologique plus profond. Elle nous semble avant tout une hypothèse ontologique originale sur « ce qu'il y a », c'est-à-dire sur ce que signifie exister et être ce qu'on est (les « éléments de l'être », pour reprendre l'expression de Williams). En effet, elle propose de substituer une ontologie à une seule catégorie (celle de « trope ») à l'ontologie traditionnelle à deux catégories, avec les individus (ou particuliers concrets) d'une part, et les propriétés de l'autre. Donc la catégorie de « trope » ne doit pas seulement servir dans une théorie des propriétés, elle doit aussi jouer le rôle attribué classiquement à la catégorie d'individu au sens ontologique : c'est-à-dire de rendre compte de la particularité des particuliers, c'est-à-dire de leur diversité et distinction.

Mais cela implique une révision radicale de la notion de « particulier ». On ne peut pas parler de « particulier » dans le même sens dans la théorie des tropes, que dans le schéma ontologique classique à deux catégories. Au-dessus, nous avons marqué d'une « * » le terme particulier* utilisé dans le sens classique d'objet qui possèdent des propriétés, ordinairement conçu comme des individu. Mais si la théorie des tropes est aussi une théorie de la particularité, alors elle doit concevoir les particuliers** en un nouveau sens, marqué par « ** ». Les *abstracta* ne sont pas particulier dans le même sens que les *concreta*.

1.2.2. Les particuliers comme « natures particulières » (Campbell).

Stout le niait, quand il répondait aux objections de Moore (Stout, 1923). D'après Moore, la façon dont les tropes (les caractères, dans le vocabulaire de Stout) sont dits « particuliers » est ambiguë. Le seul sens clair auquel un objet peut être dit « particulier » est celui de « chose concrète » (« concrete thing », p. 97), mais ce n'est évidemment pas celui auquel un trope est dit particulier, parce qu'il est abstrait et non concret. Mais dans ce cas, soutient Moore, il ne reste plus au partisan des tropes qu'à

[43] Nous expliquons juste en-dessous pourquoi nous écrivons, dans ce paragraphe, particulier* et particulier**.

utiliser le terme « particulier » comme signifiant « qui ne caractérise qu'une seule chose (concrète) », ce qui est un abus de langage ou bien une pure stipulation. Moore souligne à raison qu'il manque une nouvelle et nécessaire définition de la particularité dans la théorie des tropes, ce que Stout n'a pas vu.

Dans sa réponse à Moore, il soutient en effet que « particulier » a exactement le même sens appliqué aux concrets ou aux abstraits. Des objets peuvent être dits particuliers, dit-il, quand leur diversité ne peut pas être ultimement expliquée par des différences qualitatives, mais se ramène toujours à une pure différence numérique. Les particuliers « sont distincts numériquement, indépendamment de leur ressemblance ou dissemblance », et il ajoute dans une note qu'entre des particuliers, « il ne peut y avoir de différence de sorte [qualitative] sans présupposer une différence numérique » (Stout, 1923).

Contre Stout, nous soutenons qu'une théorie de la particularité n'est pas réduite à constater le fait de la distinction numérique, mais doit le fonder. Et nous avons vu dans le chapitre précédent qu'elle peut être fondée de deux façons : sur des différences d'individus, ou bien sur une autre sorte de différence non-qualitative. Si on suivait Stout en étendant simplement la notion de particularité des concrets vers les abstraits, alors on appliquerait aux tropes ce qui vaut pour la distinction numérique des *individus*, et il n'y aurait plus de différence fondamentale entre théorie des tropes et nominalisme. Les tropes seraient distincts les uns des autres comme des individus différents, et on leur appliquerait la même formule qui pour Goodman résumait le mieux l'ontologie nominaliste : « pas de différence sans différence d'individus » (Goodman, 1978, p. 95).

Alors comment concevoir la particularité des *abstracta* ? Campbell l'a très précisément dit en les désignant comme des « natures particulières », c'est-à-dire des étants particuliers qui *sont* une nature :

> Le noyau de l'ontologie des tropes tient en une idée : les *items* élémentaires, « l'alphabet de l'être », dans la langue de Williams, sont des cas particuliers de sortes (*cases of kinds*). Ils sont des particuliers, mais non des particuliers nus. Chacun d'eux, s'il est vraiment élémentaire, a une nature simple (il y a des tropes complexes et dérivés, mais les élémentaires ont un caractère unique). Donc un trop élémentaire – un cas de charge électrique, par exemple – n'est pas l'union de deux éléments distincts, l'un qui fournit la particularité et l'autre une nature. C'est un unique item, une nature particularisée (*particularized nature*). (Campbell, 1990, p. 20)

Un trope n'est pas, comme un *concretum* individuel quelque chose qui existe par soi, et qui *par ailleurs* possède une nature qu'il pourrait partager avec d'autres individus. Un trope est un particulier qui est une nature définie, et n'est rien d'autre que cette nature définie. Cela doit se lire dans les deux sens. D'abord, le trope est une nature qui est particulière par elle-même, et qui n'est donc pas particularisée par autre chose, qui jouerait le rôle de la particularisation ontologique joué classiquement par l'individu. Et inversement, un trope est une nature qui n'est pas nécessairement possédée par un

individu concret, mais est elle-même particulière. Autrement dit, ce n'est ni un particulier qui existerait indépendamment d'avoir telle ou telle nature, ni une nature qui devrait être possédée par un particulier pour exister. C'est grâce à cette nature ontologique que nous allons pouvoir rendre compte, par la thèse DQ, de la diversité et de la distinction des particuliers, conçus comme tropes[44].

Mais avant, notons tout de suite le second trait distinctif de cette conception de la particularité, qui sera important pour la thèse VQ. Pourquoi de cette définition du trope comme nature particulière, en découle-t-il qu'un trope est un particulier « abstrait » ? Un trope est une nature particulière, mais il n'est surtout *rien d'autre ni rien de plus* qu'une nature particulière. C'est la différence principale avec les états de choses armstrongiens, qui sont conçus dans le cadre classique d'une ontologie à deux catégories. L'état de choses est ce particulier épais formé par une nature (un universel) et son support particularisateur (un individu). En revanche, un trope n'est rien de plus que la nature particulière qu'il est. Il n'a donc pas cette épaisseur qu'on trouve dans un état de choses, puisqu'il n'y a rien, en dessous, qui la supporte et la particularise. C'est exactement ce qu'on veut dire lorsque, dans la littérature, les tropes sont désignés comme des particuliers « fins » (*thin*). Or cette finesse du trope implique directement, selon nous, son abstractivité. En effet, puisqu'il n'est rien d'autre que la nature particulière qu'il est, alors il est très exactement un cas particulier d'une propriété générique. L'abstractivité du trope est donc donnée dès sa définition.

Voyons maintenant comment cette définition de la nature ontologique des tropes nous permet de comprendre leur particularité et de fonder leur distinction numérique.

1.3.L'existence comme détermination.

Pour concevoir le trope, il faut résister à la division, si ancienne et si profondément ancrée dans nos intuitions ontologiques, entre la nature ou si l'on préfère, l'essence, et l'existence, c'est-à-dire tout simplement la distinction entre ce qu'est le particulier et le fait qu'il soit. Un trope est une nature particulière, c'est-à-dire que son *essentia* et son *existentia* ne sont pas séparées. Comment le comprendre ?

Longtemps (au moins depuis Avicenne) on a cru que l'« être » d'une chose se comprenait dans au moins deux sens : son existence (*existentia*), c'est-à-dire le fait qu'il soit par lui-même distinct des autres, et son essence (*essentia*), c'est-à-dire ce qu'il est, sa nature ou on essence. La séparation de l'existence et de l'essence est devenue si naturelle et si intuitive, qu'elle nous semble l'axiome premier d'une ontologie commune (*folk ontology*). On les conçoit séparées d'abord parce qu'on leur donne des

[44] Cette proposition ontologique est encore neuve, car l'état actuel des débats internes à la théorie des tropes montre que cette nouveauté n'a pas été reçue et jugée à sa juste valeur, et ce peut-être par Campbell lui-même. La question posée actuellement de savoir si les tropes sont des objets ou bien des propriétés semble ne pas traiter la notion de trope pour la catégorie nouvelle qu'elle est, irréductible aux catégories d'objet et de propriété ; voir (Maurin, 2018).

rôles ontologiques totalement indépendants. L'existence désigne le fait d'être comme particulier – et souvent, ajoute-t-on, d'être dans l'espace et dans le temps. Or c'est un rôle conçu comme indépendant de l'essence, dans la mesure aucune chose n'existe en vertu de sa seule essence ou de sa seule nature (sinon, peut-être, Dieu). On considère d'ordinaire qu'il faut, pour que quelque chose existe – où l'on entendait : advienne actuellement dans l'espace et le temps –, une cause ou un acte antécédents, étrangers à l'essence de cette chose.

Réciproquement, le rôle ontologique de l'essence est indépendant de celui de l'existence, puisqu'il est de conférer une nature à différents individus. L'essence est donc, selon la célèbre formule d'Avicenne, « indifférente à l'existence », parce qu'elle est ce qu'elle est indépendamment du fait d'être la nature de tel ou tel particulier. Dans la *folk ontology* d'inspiration platonicienne ou chrétienne, l'essence subsiste, dans un ciel d'Idées ou bien dans l'entendement divin, que la chose existe actuellement ou non. La séparation de l'existence et de l'essence est donc aussi une séparation modale : l'existence est tout ce qui est actuel, l'essence concerne tout ce qui est possible, c'est-à-dire peut être instancié mais ne l'est pas par des existences actuelles. Quoiqu'il en soit de la précision ou de la cohérence de cette ontologie commune, elle tourne toute entière autour de cet énoncé : *l'existence* – et nous entendons par là l'existence *particulière et distincte*, celle des individus – *n'est pas une détermination de la nature de la chose*.

La catégorie de trope nous demande de résister à cette présupposition ontologique. Si un trope est une « nature particulière », c'est que son existence particulière et distincte n'est pas donnée à part de sa nature. Un trope n'existe ni préalablement à, ni en plus de, ce qu'il est. Un trope de rouge est une occurrence du rouge, non pas au sens d'une chose qui aurait le rouge mais existerait par elle-même indépendamment d'avoir ce rouge, mais comme une nature de rouge qui est là, qui existe distinctement des autres. L'existence particulière et distincte d'un trope est identique à sa nature. On se souvient que le problème rencontré avec la théorie des tropes dans le chapitre I était de rendre compte de leur particularité et distinction comme tropes de la même propriété générique (ou classe naturelle de tropes). La solution de ce problème s'impose d'elle-même, dès lors qu'on a mesuré l'ampleur de l'originalité ontologique du concept de trope. Si l'existence particulière et distincte d'un trope est identique à sa nature, alors si deux tropes sont deux existants particuliers distincts, c'est qu'ils sont des *natures distinctes*. Autrement dit, notre but est de montrer que, pour résoudre le problème de la distinction des tropes, et rendre compte de leur particularité, il faut et suffit d'abandonner l'idée que les tropes d'une même classe naturelle *d'abstracta* sont *qualitativement identiques*. Deux tropes, fussent-ils instances de la même propriété, sont particuliers et distincts parce qu'ils sont *distincts en nature* – ou comme nous préférons le dire dans la suite, parce qu'ils sont des *déterminations distinctes*. Nous pouvons donc énoncer tout de suite la thèse discutée ici :

Thèse DQ : Des cas (ou instances particulières) d'une même propriété générique sont distincts en vertu du fait qu'ils sont des déterminations différentes de cette propriété.

DQ affirme que toute particularisation de F correspond à une unique détermination de F. On définit communément et justement l'instanciation d'une propriété F comme le fait de passer de son état non-particulier à ses occurrences particulières. Pour le dire intuitivement, DQ prétend que les instanciations de F, le passage par lequel elle franchit le fossé entre l'essence et les existences particulières qui sont F, sont autant de *déterminations* de F.

Évidemment, on rétorquera tout de suite que si deux tropes sont des déterminations différentes de la propriété F, alors ils sont distincts en nature, et ils ne peuvent pas être instances *d'exactement la même et unique* propriété F. Autrement dit, on nous dira que leur distinction numérique repose sur une différence qualitative entre deux déterminations de F. Cette objection nous permet de préciser DQ. Dire que toute instanciation particulière de F est une détermination différente de F ne revient pas à dire qu'elle correspond à une détermination *qualitative* de F. Par hypothèse, F est de toute façon une propriété physique rare, or les propriétés rares sont des propriétés qualitativement les plus déterminées. Donc les déterminations dont nous parlons dans DQ ne sont par définition pas qualitatives. DQ veut dire que les instanciations distinctes de F sont des F *différemment particularisés*, des *façons différentes* d'être F. Elles diffèrent non comme des qualités, mais comme des manières d'êtres. Donc un trope de F n'est rien d'autre qu'une instance particulière de F, comme tous les autres tropes de F, mais DQ ajoute *qu'être* instance de F, c'est l'être à la façon de l'occurrence particulière qu'il est.

La thèse DQ, aussi étrange qu'elle paraisse au premier abord, perd beaucoup de son mystère quand on s'aperçoit qu'elle est satisfaite, le plus simplement du monde, par les quantités. C'est que nous allons détailler maintenant.

1.4.Pourquoi des « déterminations » ? Et pourquoi « quantitatives » ?

Pourquoi décidons-nous d'appeler ces tropes des *déterminations quantitatives* ? La première raison est purement lexicale. Nous devons tenir aussi loin de nous que possible le registre de la qualité, qui est encore évoqué par des termes comme « trope » et surtout « propriété » (instanciée). Le terme « détermination » nous semble suffisamment extérieur à la littérature sur les propriétés pour ne pas reconduire de présuppositions qualitatives. La deuxième raison est la principale. Nous analysons la distinction des instances d'une même propriété (et donc leur diversité de particuliers) comme une différence de détermination : toute instanciation est une détermination de la propriété qui s'instancie, de telle sorte que la distinction entre tropes est expliquée comme une différence entre déterminations de la même propriété.

1.4.1. Déterminables et déterminations.

Une dernière raison d'emprunter ce terme est le lien direct que nous voyons entre la thèse DQ et la grammaire bien connue des propriétés déterminables et déterminées. Soit V une propriété déterminable et v_1, v_2,… v_n, les propriétés déterminées correspondantes. C'est un ensemble de rapports logiques qui nous permettent de les qualifier respectivement de déterminable et déterminées, et qui définissent leur grammaire (Johnson, 1921) :

(R_1) Pour tout x, si x est V, alors x est soit v_1, soit v_2,… soit v_n, c'est-à-dire l'une des propriétés déterminées à l'exclusion des autres.
(R_2) Pour tout x, si x est v_1, ou v_2,… ou v_n, alors x est V.

Par exemple, soient plusieurs choses particulières, a, b, c, etc. qui sont toutes vertes, mais de verts (parfois) différents. Soit V la propriété « être vert ». Et v_1 « être vert émeraude », v_2 « être vert forêt », ... jusqu'à v_n « être vert menthe », avec $\{v_1, v_2,\ldots v_n\}$ un ensemble de verts déterminés qui épuisent toutes les nuances de cette couleur. Ces propriétés sont un déterminable et des déterminées si, et seulement si tout objet qui est vert possède forcément l'une de ces nuances déterminées de vert, et que tout objet qui présente l'un de ces nuances peut être dit « vert » en général.

L'ontologie des propriétés déterminables/déterminées pose plusieurs problèmes en cascade. Premièrement, elle est un cas d'école pour tester des théories générales et concurrentes sur les propriétés. A nouveau, se présente l'opposition entre les tenants des tropes et les partisans des universaux. Selon les premiers, une propriété est une classe de caractères particuliers. Selon les seconds, elle est un caractère unique qui peut être possédé par plusieurs objets. Le problème alors est d'analyser ontologiquement les rapports R_1 et R_2 exposés plus haut, qui définissent la grammaire de la détermination.

Si les propriétés génériques sont des classes de tropes[45], alors la propriété v_1 « être vert émeraude » est une classe de tropes exactement ressemblants, présents dans les objets qui sont verts émeraude ; il est va de même pour v_2,… v_n. Notons $\{v_1\}$, $\{v_2\}$,… $\{v_n\}$ ces classes de tropes ou « classes de déterminées ». Si nous avons affaire à des propriétés déterminées, alors ces classes ne possèdent aucun élément en commun : il n'existe aucun trope qui appartient à au moins deux de ces classes de déterminées. Un trope vert ne peut pas être à la fois vert émeraude et vert forêt. Ensuite, quel est le statut de la propriété générique déterminable V « être vert » ? Elle ne désigne pas une classe supplémentaire de caractères, mais est seulement la classe dont les classes de déterminées sont les sous-classes. Le rapport d'inclusion des classes de déterminées dans la classe associée au déterminable « être vert », et

[45] Nous suivons ici l'analyse de (Stout, 1921).

l'exclusion mutuelle des sous-classes, suffit à rendre compte de la grammaire établie par Johnson. En effet, si $\{V\} = \{v_1\} + \{v_2\} + \ldots + \{v_n\}$, et si l'on suppose l'analyse de la prédication par les théoriciens des tropes (« *x* est P » signifie qu'un caractère p est présent dans *x*, avec p appartenant à une classe de caractères associée à P), alors on obtient les rapports R_1 et R_2. Si les propriétés sont conçues comme des universaux, alors il n'y a pas de solution simple, nous y reviendrons dans le chapitre IV (section 1.2.).

L'enjeu de l'analyse de ces rapports de détermination est de comprendre comment différents objets peuvent être distincts et en même temps similaires d'une façon tout à fait spéciale. Deux objets verts, l'un vert émeraude, l'autre vert forêt se ressemblent du point de vue du déterminable puisqu'ils sont tous les deux verts, mais diffèrent par leurs couleurs déterminées, puisqu'ils ont des verts différents. Mais c'est néanmoins en tant que verts qu'ils se distinguent. Ils sont *différemment verts*. Donc ces deux objets sont différents et se ressemblent du point de vue de cette couleur, en tant que verts. Or, dès que l'on prend les propriétés en question pour des *qualités*, on est contraint de séparer en deux propriétés distinctes ce par quoi ces particuliers se ressemblent et ce par quoi ils diffèrent. On isole la qualité déterminable (« être vert ») et les qualités déterminées (« être vert émeraude », etc.), et on explique qu'ils se ressemblent en tant qu'ils possèdent la même propriété déterminable, et diffèrent en tant qu'ils possèdent des propriétés déterminées qualitativement différentes. L'insatisfaction touche à la racine de l'analyse qui divise le déterminable et les déterminés en deux qualités ou ensemble de qualités distincts. Stout s'en aperçoit très bien quand il écrit (en prenant pour déterminable « être coloré » et pour déterminées les couleurs du spectre visible) :

> J'ajouterais que nous avons ici une sorte toute singulière de ressemblance et de différence. Il serait faux de croire que le rouge et le jaune se ressembleraient par un caractère et diffèreraient par un autre. L'aspect selon lequel ils sont semblables, i.e. la couleur, est aussi l'aspect selon lequel ils sont dissemblables. (Stout, 1921)

Stout met ici le doigt sur ce qui fait la spécificité de la grammaire de la détermination. Deux tropes qui sont deux nuances distinctes de vert diffèrent exactement selon le même aspect par lequel ils se ressemblent aussi : le fait d'être des tropes *de vert*, c'est-à-dire d'être *des déterminations différentes du même déterminable* (ou comme nous dirons plus loin, du même *type*). Il y a donc une erreur cruciale à croire qu'« être vert émeraude » s'analyse en deux qualités distinctes, « être vert » *et* « être ce vert déterminé ». Être d'une couleur déterminée, ce n'est rien d'autre qu'être *coloré d'une certaine manière* (la manière rouge, la manière jaune, etc.) ; et être une nuance de vert, c'est *être vert d'une façon déterminée* (la façon émeraude, la façon forêt, etc.).

Nous parlons des tropes comme de déterminations, parce que la thèse DQ est exactement faite pour rendre compte de cette façon qu'ont des tropes de différer selon le même aspect qui les rassemble. Une détermination est, comme instance de la propriété, sa manière particulière d'être, et ce qui fait sa

particularité. Elle est sont *ultima actualitas formae*[46]. C'est tout cela que signifie la thèse DQ : l'instanciation d'une propriété est sa détermination. Donc tout cas particulier d'une propriété générique est une détermination de cette propriété. Et deux cas particuliers sont deux et distincts parce qu'ils sont des déterminations différentes. Comme Stout le dit très bien, « il n'y a pas de qualité déterminante qui rende le déterminable déterminé », et qui s'ajouterait au déterminable. La détermination du déterminable est simplement synonyme de son instanciation particulière.

1.4.2. Pourquoi « quantitatives » ?

Mais pourquoi parler de déterminations « quantitatives » ? Cette thèse DQ isole, selon nous, les propriétés quantitatives, et permet justement de les distinguer des qualités. Il nous semble caractéristiques des particuliers quantitatifs d'être distincts comme déterminations différentes de la même propriété. Nous développerons cela plus amplement au chapitre IV, mais nous pouvons d'ores et déjà vérifier que les grandeurs, obtenues par la mesure des phénomènes naturels, satisfont simplement la thèse DVQ.

Prenons la propriété F : « être une charge électrique ». Alors les particuliers a, b, c, etc. sont des cas de F, c'est-à-dire des charges électriques. Qu'est-ce qui fonde la distinction numérique de ces charges électriques ? Rien qui existerait au-dessous d'elles, comme des individus distincts qui posséderaient ces charges, mais seulement le fait qu'elles sont des déterminations différentes de « être une charge électrique ». Par exemple, a est une charge de 1,564 Coulomb, et b une charge de 2,619 Coulomb. Ces charges sont des déterminations différentes de F. Si nous prenons ces différentes déterminations pour le fondement de la distinction numérique de a et b, comme nous y invite DQ, alors nous devons penser que la détermination « 1,564 Coulomb » est la façon qu'a, ou plutôt *qu'est*, le particulier a d'être chargé.

On voit que la thèse DQ comporte deux aspects. Premièrement, les instanciations de F ne sont pas simplement des particuliers « électriquement chargés », mais sont des charges déterminées. Et deuxièmement, ces déterminations ne sont pas des qualités différentes, répétables et partageables par divers particuliers chargés, mais chacune est un particulier. Et par conséquent aussi, a et b demeurent indiscernables qualitativement. Ils sont deux cas particuliers d'une même et unique propriété « être électriquement chargé ». Ils diffèrent donc par exactement le même aspect qui les rassemblent, c'est-à-dire comme charges électriques.

Bien sûr, on nous opposera que la thèse DQ rend parfaitement impossible que deux particuliers distincts soient la même charge, par exemple 1,564 Coulomb, et que cette impossibilité est un trop fort inconvénient pour l'admettre. Nous répondrons à la section 4. ce chapitre à cette objection.

---

[46] Expression scotiste qui désigne cette détermination ultime de la forme qui fait son individualisation, et que Duns Scot appelle « haeccéité ».

Bien sûr aussi, cette application de la thèse DQ au cas des grandeurs déterminées ne prouve absolument pas que la thèse ontologique DQ est adéquate, même pour les grandeurs. Ce sera l'objet des chapitres V et VI de le montrer en étudiant précisément la mesure. Notons pour l'instant simplement qu'en appelant « grandeur » une propriété physique quantitative, et « magnitude » une détermination de grandeur, notre thèse affirme qu'une instance particulière de grandeur est une magnitude, et que toutes les instances de la même grandeur se distinguent mutuellement en tant que magnitudes différentes. Autrement dit, la thèse DQ qui affirme qu'être un cas ou une instance *particulière* (d'une propriété générique), c'est être une *détermination quantitative*, semble être très simplement satisfaite par ce que signifient dans la pratique métrologique les termes de grandeurs et de magnitudes.

1.5. Les déterminations quantitatives comme solution à la première partie du problème métaphysique des propriétés.

Le problème qu'il faut résoudre ici représente la moitié du problème des propriétés génériques. Il s'agit d'expliquer comment divers cas d'une propriété générique peuvent être distincts. Nous devons trouver une autre façon de concevoir cette distinction que celle attachée à la conception qualitative des propriétés, qui veut que les différents cas d'une propriété soient qualitativement identiques (exactement ressemblants) et différents seulement numériquement (*solo numero*). Dans notre critique des tropes, nous avons mis en évidence que rien ne fonde la distinction des divers tropes membres d'une même classe de ressemblance exacte. Comme aspects abstraits d'individus concrets, des tropes divers et exactement ressemblants nous semblaient impossibles à concevoir.

La thèse DQ résout pleinement ce problème de distinction en affirmant que toute instanciation est une détermination de la propriété. Deux instanciations sont distinctes parce qu'elles sont des déterminations différentes de la même propriété. Par exemple, deux cas particuliers de la propriété de « être massif » ne sont pas simplement les aspects « massifs » des corps, mais leurs masses déterminées. Un corps n'est jamais simplement massif, mais possède toujours une masse déterminée. Ce que dit la thèse DQ, c'est que cette déterminité de sa masse est la sienne simplement en tant qu'occurrence de la propriété générique « Masse ». Instancier la « Masse », en être un cas particulier distinct des autres, c'est être une masse déterminée. La détermination d'une propriété générique est donc un fait d'instanciation. Passons maintenant au second aspect de la théorie ontologique que nous proposons, la thèse VQ.

2. <u>La thèse des variations quantitatives (VQ).</u>

Nous devons maintenant compléter notre solution au problème des propriétés génériques, en expliquant comment divers cas particuliers, dont nous venons d'expliquer le fondement de la distinction, sont néanmoins des instances *de la même* propriété. Mais la thèse DQ ne vient-elle pas de rendre cette

tâche impossible ? Elle dit que des instances distinctes d'une propriété sont des déterminations différentes de cette propriété. Cette solution au problème de la distinction n'hypothèque-t-elle pas définitivement toute explication du fait que ces instances sont bien des instances *de la même propriété* ? Toute la thèse des VQ peut être vue, ainsi, comme l'explicitation du fait que des déterminations quantitatives différentes ne sont pas qualitativement différentes, mais sont bien des cas différents de la même propriété.

La difficulté que nous mentionnons n'est, à nouveau, due qu'à la persistance en nous du schème de la qualité. En effet, si l'on suivait parfaitement la thèse DQ présentée plus haut, alors la réponse à la question : « Comment les différentes déterminations quantitatives sont-elles des instances *de la même propriété F* ? » serait immédiate. La thèse DQ énonce que l'instanciation est une détermination, et que par conséquent les diverses instanciations d'une propriété sont distinctes comme déterminations différentes de cette propriété. Par conséquent, c'est en tant qu'instances de la même propriété qu'elles diffèrent. Ces différentes instances de F, toutes différentes soient-elles comme déterminations, n'en restent pas moins instances de F, puisque c'est en tant que telles qu'elles diffèrent. Deux charges électriques particulières sont distinctes parce que sont des charges électriques différentes, mais elles n'en sont pas moins toutes deux instances de la propriété « être électriquement chargé ».

Pourtant, si la solution est là, nous devons prendre le temps de la déplier pour assécher définitivement l'évidence intuitive associée au régime de la qualité, et déployer, après les déterminations quantitatives, le concept des *variations* quantitatives. Pour cela, en suivant nos conclusions du chapitre II, nous montrerons qu'en tant que réponse à la question Q_2 (quel est le fondement ontologique de la distinction des particuliers ?), la théorie DVQ de la particularité permet aussi de répondre à la question Q_1 (Les particuliers a, b, c, etc., sont-ils instances de la même propriété F en vertu seulement de ce qu'ils sont ?), et positivement : les particuliers a, b, c, qui sont F sont, en vertu seulement de ce qu'ils sont, des instances d'une *même* propriété F (sections 2.1. et 2.2.). Ensuite, nous en tirerons la conception de la nature de ces propriétés génériques (sont-elles des universaux, ou bien des classes de tropes ?) (section 2.3.). Ainsi, il faut situer la thèse VQ dans le champ des discussions sur les universaux et la comprendre comme position sur la nature des entités génériques. Cette partie sur les variations quantitatives a donc deux objectifs liés : décrire la nature des entités génériques que nous serons amenés à postuler, et dire comment elles peuvent réunir plusieurs déterminations quantitatives comme leurs instances.

2.1.Les déterminations quantitatives sont des abstracta.

Dans la structure de ce travail, la thèse VQ nous permet d'établir la seconde partie de notre théorie de l'instanciation, après la thèse DQ. Cette dernière a été présentée comme une thèse sur la nature de la particularité des particuliers, et le fondement de leur distinction. Maintenant, nous devons expliquer en quoi les particuliers conçus comme tropes sont des cas particuliers d'une même propriété

que d'autres. Selon VQ, plusieurs cas particuliers sont des instances de la même propriété générique, s'ils *ne* sont divers et distincts *que* d'une manière tout à fait spécifique : en tant qu'instances d'une même propriété. C'est cette manière dont divers particuliers sont autres les uns des autres, que nous appelons la *variation quantitative*, qui suffit à rendre compte de leur appartenance à une classe naturelle, ou de leur être tous « instances d'une même propriété ».

Surtout, VQ complète DQ sans lui ajouter aucun matériel ontologique supplémentaire. DQ énonçait déjà que les divers cas d'une même propriété sont distincts en ce qu'ils instancient différemment cette propriété. Maintenant, la thèse VQ ajoute seulement que ce mode de distinction *suffit* à rendre compte de leur communauté comme instances d'une même propriété, à la condition qu'il soit le seul vecteur de distinction. Autrement dit, VQ complète DQ par une *restriction* : c'est, *et c'est seulement*, comme instances de F que les divers cas de F se distinguent. Nous devons donc expliquer pourquoi cette restriction suffit à fonder leur communauté comme instances d'une même propriété, en commençant par montrer en quoi elle en fait des particuliers *abstraits*.

Nous disons que les diverses déterminations quantitatives sont abstraites en raison du genre de diversité qui est la leur. C'est ce genre de diversité qui est décrite par le concept de variations quantitatives. Pour le comprendre, nous devons donc distinguer entre deux genres de diversité : la diversité externe et la diversité interne. La thèse VQ consistera alors à nier entre nos cas particuliers toute diversité externe, et à expliquer pourquoi l'affirmation de la diversité interne équivaut à l'abstractivité de ces particuliers.

Nous appelons « externe » une diversité de particuliers qui tient à des aspects tout autres que l'aspect par lequel ils sont instances d'une même propriété. Si nous avons divers particuliers qui sont F, et que nous cherchons à fonder leur appartenance commune à la classe des instances de F, leur diversité est externe lorsqu'elle consiste en des différences en des aspects tout autres que F. Prenons l'exemple des émeraudes vertes. Il nous paraît légitime de les rassembler dans la classe des instances du type « émeraudes vertes ». Mais nous considérons en général une situation où il y a plusieurs émeraudes vertes. Donc il faut bien que nos diverses émeraudes soient différentes par tout un tas d'autres aspects : taille, poids, localisation géographique, etc. Comme ces aspects sont d'autres aspects que ceux par lesquels les émeraudes se rassemblent, la diversité que l'on considère dans cet exemple est externe.

A nouveau, le lexique de la ressemblance peut chercher ici à s'imposer. Sur la distinction utilisée ici entre « l'aspect par lequel divers particuliers se r***a***ssemblent » et « le ou les aspects par le(s)quel(s) ils sont distincts et divers », on superpose en général la distinction entre « l'aspect par lequel ils se *ressemblent* » et « le ou les aspects par le(s)quel(s) ils *dissemblent* ». Autrement dit, la tendance est très forte de penser, encore, que les particuliers se réunissent par ce en quoi ils se ressemblent, et sont distincts par ce en quoi ils dissemblent qualitativement. Or, nous refusons cette grille d'analyse, pour toutes les raisons que nous avons données plus haut contre l'utilisation ontologique et objective de la

catégorie de ressemblance. L'aspect par lequel divers particuliers sont réunis comme cas d'une même propriété n'est pas un aspect de ressemblance (au sens ontologique et objectif).

En effet, le rejet de la ressemblance culmine dans ce que nous appelons maintenant la *diversité interne*. Nous parlerons de diversité interne lorsque l'aspect par lequel divers particuliers sont distincts est en même temps l'aspect par lequel ces particuliers sont cas d'une même propriété. Dit plus simplement, divers particuliers en situation de diversité interne sont distincts par le même aspect qui les réunit en classe d'instances d'une même propriété : c'est-à-dire en tant *qu'instances* de la même propriété. L'aspect en vertu duquel nos divers particuliers appartiennent à la même classe est simplement leur statut d'instances de la propriété F.

Des déterminations quantitatives de la même propriété sont en diversité interne. Elles sont des instanciations distinctes de la même propriété en tant que déterminations différentes de cette propriété. Donc ces déterminations différentes sont distinctes en tant qu'instances de la même propriété. Ce que propose maintenant la thèse VQ est tout simplement de penser la diversité de ces particuliers, conçus comme déterminations quantitatives, comme *exclusivement* interne, et d'exclure à leur endroit toute diversité externe :

Thèse VQ : la diversité entre particuliers qui sont des déterminations quantitatives de la même propriété est exclusivement interne.

Expliquons maintenant en quoi la négation de toute diversité externe entraîne l'abstractivité des particuliers divers. Un particulier est abstrait lorsqu'il est un aspect et n'est que l'aspect qu'il est ou, pour reprendre l'expression de Campbell, n'est rien d'autre que la « nature particulière » qu'il est. Il est fin (*thin*), c'est-à-dire privé de l'épaisseur concrète des état de choses individuels. A l'inverse, un particulier est concret lorsqu'il ne se réduit pas à un aspect abstrait. Ce que nous pouvons montrer maintenant, c'est qu'un particulier concret est toujours nécessairement dans une situation de diversité externe. Et par conséquent, la négation de toute diversité externe par la thèse VQ entraînera forcément l'abstractivité des particuliers divers.

Or le particulier concret, ou l'individu, c'est le particulier tel que le conçoit le nominaliste. La conception nominaliste de la particularité implique une diversité *externe* des particuliers. C'était cette diversité même qui lui permet de rendre problématique toute réponse réaliste au problème des propriétés. Un particulier concret est un particulier qui, s'il se rassemble à d'autres par un aspect (ce rassemblement étant généralement conçu comme une ressemblance), diffère de ces autres par tout un tas d'autres aspects : soit qu'il possède d'autres aspects (diversité qualitative), soit, dans le cas d'une diversité de particuliers qualitativement identiques, qu'un principe d'individuation rende compte de leur distinction (différence d'individualités). La thèse nominaliste fondamentale (PN) implique donc bien que les particuliers concrets sont en situation de diversité externe. Dans les deux cas, différence qualitative ou

d'individualités, les particuliers sont concrets et par conséquent diffèrent entre eux par tout un tas d'autres aspects que celui où ils se rassemblent. Dans un nominalisme pur, des individus même indiscernables diffèrent par un aspect irréductiblement externe, leurs individualités absolument singulières. Donc la concrétude des particuliers concrets implique directement le mode de diversité que nous appelons externe. La négation par la thèse VQ de la diversité externe équivaut immédiatement à la négation de la concrétude des particuliers considérés. Les particuliers en situation de diversité interne sont par conséquent abstraits.

2.2.Les variations quantitatives, solution au problème des propriétés.

Nous allons maintenant montrer que la thèse VQ suffit, en garantissant l'abstractivité des différentes déterminations quantitatives, à fonder l'existence d'une propriété (sans préjuger encore de la nature ontologique de ces propriétés). Différents particuliers qui satisfont aux thèses DQ et VQ, c'est-à-dire qui sont en situation de diversité interne et seulement interne, sont, en vertu seulement de cela, des instances (distinctes) de la même propriété (ou membres de la même classe naturelle).

2.2.1. Le concept des variations quantitatives.

Mais il faut d'abord expliquer pourquoi choisir le terme de « variations » pour désigner les différences entre les déterminations quantitatives, c'est-à-dire les particuliers en situation de diversité interne. Il y a une raison immédiate et une raison profonde à ce choix. C'est un terme emprunté au lexique de la quantité, ce qui motive son utilisation ici, puisque par lui nous cherchons à capturer des différences que nous croyons de nature quantitative. Mais la nature quantitative de ce dont nous parlons ne pourra, en réalité, s'attester que par lecture que la théorie DVQ permet de faire des grandeurs physiques et du problème de leur mesure.

Surtout, contrairement au terme de différence, qu'on aligne souvent, dans les langages ordinaire ou philosophique, avec la notion de dissemblance (différence qualitative), le terme de variation n'est entaché d'aucune présupposition qualitative. Qu'est-ce que cela signifie précisément, et en quoi cela nous rend-il le terme intéressant ? Une variation est certainement une différence : si un particulier est avec un autre particulier dans un rapport de variation, ils sont différents en un certain sens. Ce rapport de variation peut aussi se trouver entre deux états d'un même particulier concret, pour qui voudrait admettre des *concreta*. Mais la variation renvoie à une différence telle que les deux particuliers n'en gardent pas moins quelque chose de commun. Autrement dit, contrairement au régime de la qualité, où ce qui est différent est *qualitativement* différent, et ce qui est le même est *qualitativement* identique, le terme de variation nous offre une possibilité de penser une forme de diversité entre particuliers qui sont autres et les mêmes à la fois. Par exemple, deux masses sont dans un rapport de variation l'une avec

l'autre. En effet, elles sont deux, et donc en un sens différentes. Néanmoins, elles ont bel et bien quelque chose en commun, puisqu'elles ne sont toutes deux qu'instances (différentes) de la même grandeur physique, la masse. La différence entre elles n'est donc pas qualitative. Le terme de variation offre précisément de quoi penser de mode de différence entre instances de la même propriété. Il reste à le construire précisément le concept, qui doit nous permettre d'exprimer ce qui, dans le vocabulaire de la qualité, demeure une contradiction : comment différentes instances d'une même propriété peuvent-elles être différentes et les mêmes ?

On se souvient que, dans la théorie de l'instanciation d'Armstrong, il fallait rendre compte du fait que les divers états de choses F(a), F(b), F(c), qui sont les vérifacteurs des attributions de F aux particuliers a, b, c, etc., ont quelque chose en commun : d'être des cas de F, c'est-à-dire des instances de la même propriété F. Pourtant, comme vérifacteurs, ces états de choses sont des particuliers (en vertu de ce qu'Armstrong appelle « la victoire de la particularité »). Donc pour concevoir qu'ils partagent à nouveau cette propriété, il fallait soit postuler de nouveaux états de choses IF(F(a)) : « F(a) étant instance de F », IF(F(b)) : « F(b) étant instance de F », etc., et entrer dans une régression infinie vicieuse, soit prendre ces états de choses pour des particuliers abstraits, ce qui n'est pas possible dans le cadre de la théorie armstrongienne.

Or, désormais, le caractère abstrait des états de fait F(a), F(b), F(c), est une suite de la théorie que nous avons proposée de la particularité et de l'instanciation. Selon DQ, la particularité de l'instanciation de F en a, par exemple, ne vient pas de ce que a est préalablement un particulier, mais de ce que toute instanciation est une détermination particulière de la propriété F. C'est ce que nous reprenons de la théorie des tropes. Par conséquent, F(a) n'est pas « l'instanciation de F par le particulier a », mais une « a-instance de F ». F(b) est une « b-instance de F », etc. Ici, les particularités a, b, c, etc. ne désignent plus des individus sous-jacents, mais des instanciations qui sont des déterminations particulières de F. Ces différences entre déterminations-instanciations d'une même propriété sont ce que nous appelons les variations quantitatives.

2.2.2. VQ résout le problème des états de choses armstrongiens. Les déterminations quantitatives comme « états de fait ».

Nous pouvons maintenant repartir du point où nous avions laissé la discussion de la théorie armstrongienne des types d'états de choses. Montrons que VQ, en garantissant l'abstractivité des particuliers en diversité interne, rend parfaitement compte du fait que divers particuliers qui sont en variation quantitative sont tous, en vertu seulement de ce qu'ils sont, *instances de la même propriété*. Ainsi, la thèse VQ nous permet de faire ce que la théorie des états de choses armstrongiens échouait à atteindre, à savoir donner une réponse positive réaliste à la question (Q_1) : divers particuliers sont-ils, en vertu seulement de ce qu'ils sont, des instances d'une même propriété ?

2.2.2.1.La réponse de DVQ à Q_1.

Dans l'examen de la théorie d'Armstrong, on échouait à faire advenir le type d'états de choses dont F(a), F(b), F(c) étaient les tokens, ce qui provoquait une régression. En effet, comme F(a) est, comme état de choses, un particulier concret, le seul type dont il est le token immédiat est le type « a instanciant F » ou « être une a-instance de F ». Les autres états de choses ne pouvaient être considérés comme tokens du même type. Ne pas voir ce problème, c'est considérer que ces particuliers F(a), F(b), F(c) sont immédiatement abstraits comme instances de F, ce qui est impossible dans le cadre de la théorie des états de choses. C'est au contraire ce que les variations quantitatives permettent.

Mais si nous allons repartir de la théorie armstrongienne des types d'états de choses, c'est en lui faisant subir une modification lexicale nécessaire, car nous ne pouvons pas ignorer tout ce que nous avons tiré de la théorie des tropes, ainsi qu'établi dans la thèse DQ. En l'espèce, nous bénéficions maintenant d'une conception précise de ces divers particuliers dont nous étudions maintenant le type : ce sont des déterminations quantitatives. Or cela nous dispense de reprendre à notre compte le lexique, si chargé de présupposés ontologiques, des « états de choses ». Les états de choses sont particuliers et distincts les uns des autres en vertu de la particularité et distinction des « choses » (les « particuliers fins ») qui les sous-tendaient. Mais désormais la particularité nous est acquise, par d'autres voies. Les particuliers considérés maintenant sont particuliers et distincts selon les modalités exposées dans la thèse DQ. C'est pourquoi, en reprenant l'outillage armstrongien des types d'états de choses, nous abandonnons le terme de « choses » pour utiliser désormais les expressions ontologiquement plus neutres d'« état de fait » et de « type d'états de fait ». Nous conservons le terme « état », qui traduit bien le fait que le particulier ainsi conçu est une certaine nature puisqu'il est étant ceci ou cela, par exemple étant F. C'était aussi ce qu'Abélard avait en vue avec son concept de « statut ». Nous parlerons donc aussi des déterminations quantitatives comme d'états de faits.

Le problème qui se posait à la théorie d'Armstrong est résolu grâce à l'abstractivité des états de faits. Les différents états de faits F(a), F(b), F(c) ne sont plus distincts comme des concrets, c'est-à-dire en vertu de différences qualitatives ou d'individualités. Ils sont en situation de diversité interne et non plus externe, car sont donc des *abstracta*. Par conséquent, comme F(a), F(b), F(c) ne diffèrent qu'en tant *qu'instances différentes de la même propriété F*, ils sont tous en vertu seulement de ce qu'ils sont, des instances de la même propriété. Nous n'avons pas besoin pour fonder leur appartenance à la classe des instances de F de penser quelque chose *qu'ils auraient en commun et qui s'ajouterait* à ce qu'ils sont déjà en tant que particuliers distincts, puisqu'ils ne sont déjà que cela : des instances différentes de F. Nous ne sommes donc pas condamnés comme Armstrong à ajouter l'universel IF à l'universel F, et nous pouvons donc apporter la réponse suivante à (Q_1) :

Réponse de DVQ à Q_1 : différents particuliers qui sont des états de faits en variations quantitatives sont, en vertu seulement de ce qu'ils sont, des instances de la même propriété.

De nombreuses questions restent encore ouvertes. Nous parlerons dans la prochaine section de la nature ontologique de cette « propriété » dont différents états de faits sont les instances, et expliquerons pourquoi nous parlons de « types d'états de faits ». Pour l'instant, il est nécessaire de préciser le sens de cette réponse à (Q_1) en répondant à une possible objection.

2.2.2.2.Le retour du problème de la distinction des classes.

On se souvient de l'objection que l'on soulevait contre l'usage analytique de la ressemblance : si deux particuliers (concrets) appartiennent à la même classe naturelle en vertu seulement du fait qu'ils se ressemblent, et si on refuse comme le nominaliste de passer d'une relation de ressemblance globale (*overall resemblance*) à une ressemblance selon un aspect (*resemblance-in-a-respect*), alors on est incapable de fonder distinctement l'appartenance d'un particulier à une classe de ressemblance plutôt qu'à une autre. Cette émeraude verte, par exemple, était également fondée à appartenir à la classe des émeraudes vertes, qu'à celle des émeraudes vleues. Il faut une épaisseur intensionnelle à la relation de ressemblance pour qu'elle puisse fonder l'appartenance d'un particulier à une classe naturelle. On se rappelle aussi que le tenant des tropes qualitatifs n'a pas ce problème, grâce précisément au caractère abstrait des tropes. Différentes particuliers abstraits, seulement parce qu'ils se ressemblent, appartiennent à une même classe de ressemblance. Or on peut se demander si, ironiquement, le problème que nous posions au nominaliste ne se pose pas en retour à notre théorie DVQ.

Diverses déterminations quantitatives sont des déterminations différentes de F, donc elles ne se ressemblent pas, mais sont en relation de variation quantitative. Dans ce cas, comment fonder distinctement l'appartenance de différents états de faits qui ne se ressemblent pas à une même classe d'instances de F, plutôt qu'une autre classe d'instance de G ? En effet, il faut bien y avoir des états de faits qui sont aussi qualitativement différents, et instances de propriétés différentes, comme une détermination quantitative de la Masse m_i et une autre de l'Énergie e_i. Comment bien distinguer la façon qu'ont deux déterminations quantitatives de la Masse de ne pas se ressembler, de celle dont m_i et e_i ne se ressemblent pas (qualitativement) ?

Nous devons donc préciser un point important de notre thèse : seuls des états de faits qui sont *en variation quantitative les uns par rapport aux autres* sont instances de la même propriété. Il faut expliquer, en un mot, en quoi la relation de variation quantitative remplit exactement le même rôle, entre nos déterminations quantitatives, que la relation de ressemblance entre les tropes qualitatifs dans la théorie classique des tropes.

2.2.3. Abstraction et appartenance commune.

Dans la théorie des tropes qualitatifs, les différents tropes rouges, par exemple, appartiennent à la même classe des tropes de rouge parce qu'ils se ressemblent exactement. Mais nous expliquions aussi, dans notre discussion de cette théorie, que ce n'était pas tant leur ressemblance exacte, que leur abstractivité, qui fondait cette appartenance commune à une même classe, et donc le caractère naturel de cette classe. Comme un trope de rouge est un particulier fin et abstrait, il n'est que la couleur particulière qu'il est et ne peut donc entrer, en vertu de ce qu'il est, que dans une classe bien déterminée : la classe des tropes rouges. Mais la ressemblance ne joue-t-elle aucun rôle dans le fondement de cette commune appartenance ? Il semble malgré tout qu'en plus de leur abstractivité, le fait qu'un trope rouge *ressemble* à tous les autres tropes rouges est nécessaire pour que ce soit à *cette* classe qu'il appartienne. Après tout, un trope bleu est abstrait. Pourtant, il n'appartient pas à la classe naturelle des tropes rouges, et il faut bien que ce soit parce qu'il ne ressemble pas aux tropes rouges. La ressemblance semble donc jouer un rôle tout aussi indispensable que l'abstractivité pour fonder l'appartenance des tropes *qualitatives* à une même classe de tropes.

Or, notre solution au problème des propriétés en passait par la levée de l'hypothèse de la ressemblance entre les particuliers. Les différents particuliers qui sont instances d'une même propriété F sont des façons déterminées et différentes d'être F. L'« être instance particulière de F » qui les réunit n'est rien d'identique en chacun. Sans jouer sur les mots, leur « point commun » n'a pas plus d'épaisseur qu'un point : être différentes instances (de F). S'ils ne se ressemblent plus comme les tropes qualitatifs se ressemblaient, comment garantir que, par exemple, cette charge particulière soit, en vertu seulement de son abstractivité, membre de la classe des charges plutôt que de celle des masses ? Nous pensons que le concept de variation quantitative est suffisant pour empêcher ces aberrations.

Il est crucial de distinguer deux choses : (1) le fondement de la commune appartenance de divers particuliers à une même classe, et (2) l'identité de cette classe, qui la distingue de toute autre classe. Comme Rodriguez-Pereyra l'expliquait, ce sont effectivement deux questions distinctes, qui n'ont pas à recevoir la même réponse ontologique. Divers particuliers peuvent appartenir à une certaine classe pour une raison R, et que cette classe soit la classe F et non la classe G pour une raison R', sans avoir à identifier R et R'. Mais, contrairement à ce que pensait Rodriguez-Pereyra, R et R' ne peuvent pas être distincts si c'est la ressemblance qui joue le rôle R. En effet, on voit bien que si (1) le fondement de la commune appartenance de a, b, c, à une classe C quelconque, c'est leur ressemblance-en-F (comme le pense le nominaliste de la ressemblance) alors (2) la classe C est immédiatement identifiable comme la classe de ressemblance-en-F : c'est la « classe des F », tout à fait distincte de la « classe des G » comme un particulier qui est F est distinct d'un particulier qui est G. Mais en levant l'hypothèse de la ressemblance, nous pouvons effectivement distinguer ces deux questions.

C'est pourquoi la question que nous résolvons maintenant n'est pas : « Quel est le fondement du fait que le particulier a soit instance de F comme les particuliers b, c, etc., ou bien instance de G, comme d'autres particuliers, e, d, f ? ». Car elle mêle les deux questions (1) et (2) qui sont distinctes. La thèse VQ ne permet de répondre qu'à la première : « Quel est le fondement du fait que le particulier a soit instance de la *même* propriété que b, c, etc. ? » Autrement dit, le problème que nous affrontons ici est de fonder le fait qu'un particulier entre automatiquement comme membre d'une classe naturelle, aux côtés d'autres. Une fois cela garanti, la question (2) de savoir ce qui fait que cette classe naturelle est identique ou distincte d'une autre (ce qui l'identifie ou l'individue), pour importante qu'elle est, dépend d'un autre niveau de théorie : celui de l'individuation des propriétés. Nous y répondrons dans le chapitre VII (section 4.2.3.1.) en avançant que c'est par sa présence dans une ou plusieurs lois de la nature et sa place dans la structure nomique qu'une propriété quantitative se distingue d'un autre.

Par conséquent, le caractère abstrait des particuliers qui sont en variations quantitatives les uns par rapport aux autres ne fonde que leur appartenance commune à une même classe *d'abstracta*, ou leur être instances particulières d'une même propriété. Par exemple, une masse de 1,519 kg est une détermination de la propriété « être massif », et c'est, selon DQ, le fondement ontologique de son existence distincte de tous les autres particuliers massifs. Mais, selon la thèse VQ, elle n'est différente de ces autres masses particulières qu'en tant que masse déterminée ; elle est une masse qui est une variation quantitative des autres masses. Mais elle n'est pas en variation quantitative avec des particuliers qui sont des charges déterminées. Donc elle ne peut, en vertu de ce qu'elle est, entrer que dans la classe des instances qui instancient différemment la même propriété. Mais cela n'est pas du tout le fondement de la distinction entre « être massif » et « être chargé », qui se trouve plutôt dans les rôles nomiques différents joués par ces deux propriétés.

2.3. Typicité et généricité.

Nous passons maintenant à la dernière question à laquelle notre théorie DVQ doit répondre. DVQ est avant tout une théorie de la particularité, qui propose de concevoir les particuliers comme des *cas particuliers* abstraits d'une propriété. Mais elle permet aussi de concevoir la nature de ces entités non-particulières dont ils sont les instances, les « propriétés ». L'hypothèse ontologique soutenue ici ne les conçoit ni comme des universaux, ni comme seulement des classes de tropes, mais comme des types, et plus précisément des types d'états de faits (ce qu'Armstrong appelait des types d'états de choses) ou *types quantitatifs*. Nous commençons par expliquer en quel sens il faut comprendre les types comme des objets « abstraits », et discuter de la question des propriétés ou universaux « non-instanciés ». Ensuite, nous distinguerons la catégorie des « types » des autres catégories ontologiques proches, comme « universaux » ou « classe », pour enfin préciser en quel sens nous concevons l'existence d'un type d'états de faits.

2.3.1. Les types, objets « abstraits » ?

La conception des propriétés génériques comme types doit maintenant compléter DVQ, comprise comme une théorie générale de l'instanciation, qui décrit la nature ontologique des particuliers en tant qu'ils sont des instances de propriétés, et décrit la nature ontologique des propriétés en tant qu'elles sont instanciées particulièrement. De même que nous mettons de côté les particuliers qui ne sont pas des cas de propriétés génériques, maintenant, nous ne parlerons pas d'universaux qui ne seraient pas conçus ou visés comme propriétés génériques, c'est-à-dire comme entités instanciées particulièrement. Ces deux restrictions ne sont pas séparables. Dire que cette thèse sur la nature de la généricité est la seconde partie d'une théorie *de l'instanciation*, et n'est que cela, c'est en réalité prendre parti sur le traitement métaphysique de ces entités non-particulières appelées propriétés ou universaux, qui ne sont considérés *qu'en tant qu'instanciés*.

En effet, un universel, à supposer qu'il existe, n'est pas autre chose que ce que nous appelons une propriété générique, c'est-à-dire ce qui est instancié dans plusieurs particuliers et qui, l'étant, fonde la vérité de l'attribution d'un même prédicat à ces particuliers. C'est certes ainsi qu'il est conçu dans la tradition médiévale : « l'universel est ce qui est par sa nature dans plusieurs et dit de plusieurs »[47], et c'est bien ainsi que nous entendons le viser à notre tour après Armstrong. C'est dire que les propriétés sont des objets « abstraits » en un sens très précis d'abstrait, qui est parfaitement défini par Armstrong : est abstrait ce qui ne peut pas exister séparément (en l'occurrence, des particuliers qui les instancient), mais peut en être séparé par l'esprit (Armstrong, 1980).

2.3.1.1.Les trois sens d'« abstrait ».

Il faut nettement distinguer au moins trois sens du terme « abstrait », pour éviter toute confusion. Le sens auquel les propriétés ou universaux sont abstraits n'est en effet ni celui auquel on dit que les tropes sont abstraits, ni celui des objets qui existeraient en dehors de l'espace-temps.

Les universaux sont abstraits en un sens qui selon Armstrong implique le processus cognitif d'abstraction : ce n'est que l'esprit qui parvient à les considérer séparément des particuliers où ils sont présents. En revanche, les tropes sont abstraits simplement parce qu'ils ne sont pas des objets concrets, et ne consistent qu'un un aspect fin, une « nature particulière ». Mais ils ne sont pas du tout nécessairement le résultat d'un processus mental d'abstraction, et peuvent exister indépendamment des

[47] « Universale est quod est in multis et de multis suae naturae suppositis », écrivait par exemple Avicenne dans la *Logique du Shifâ* (Avicenne, 2018).

objets concrets (*cf* section 3.2.1.2.). Les universaux au contraire sont dit abstraits par Armstrong parce qu'ils ne peuvent pas exister en dehors de leurs instanciations.

Il faut aussi bien distinguer le sens auquel on dit, par exemple, que des objets mathématiques sont « abstraits » et par lequel on désigne des entités qui seraient non spatio-temporelles. Armstrong parle pour lui d'« abstrait au sens quinien » (Armstrong, 2004, p. 102), que nous notons « abstrait-Q » qui n'est pas non plus le bon, puisque les universaux sont dits abstraits précisément parce qu'ils n'existent que dans les particuliers spatio-temporels qui les instancient. Beaucoup d'auteurs conçoivent aujourd'hui les universaux (en tant qu'entités putatives) comme des objets abstraits-Q par opposition aux objets qui existent « concrètement », c'est-à-dire dans la nature, l'espace et le temps. On prend généralement, comme exemples paradigmatiques d'objets abstrait-Q, le nombre 3, le cercle mathématique, la symphonie n°9 de Beethoven, le jeu d'échec, la lettre A, etc. Ces objets sont abstraits-Q par opposition avec leurs occurrences concrètes (ou tokens[48]), par exemple cette inscription du nombre 3 sur la feuille, ce cercle tracé sur le sable, cette partition où est couchée la symphonie, ce caractère « A », etc. Toute une littérature est dévolue à la formulation de nets critères de distinction entre l'abstrait-Q et le concret : est abstrait-Q ce qui, contrairement aux objets concrets, n'est ni sensible ni mental (Frege, 1977), ni spatiotemporel (Quine, 1948), ni causalement efficace, etc.[49]

Mais quel que soit le critère adéquat pour distinguer les deux, on remarque que les objets abstrait-Q sont toujours conçus tels qu'il y a sens à se demander s'ils peuvent ou non exister sans être instanciés concrètement, c'est-à-dire sans avoir d'occurrences. La symphonie n°9 de Beethoven, comme objet abstrait-Q, existerait-elle si l'homme concret nommé « Ludwig van Beethoven » ne l'avait jamais écrite sur ses partitions, et si depuis elle n'était jamais interprétée ? On aurait tendance à penser que non, car Beethoven n'a pas seulement produit les tokens de sa symphonie, mais en a composé le type abstrait-Q, qui donc n'existait pas avant ses occurrences. Mais dirait-on pareil de l'objet abstrait « cercle » ? Il est possible qu'il n'y ait aucun cercle parfait inscrit dans la nature, et qu'aucun objet concret ne corresponde à l'objet abstrait-Q « Cercle ». Est-on prêt, pour autant, à en conclure que le « Cercle », comme objet abstrait, n'existe pas malgré l'absence d'instances concrètes ? Ainsi, nous appelons « objet abstrait-Q » ce dont il y a sens à se demander, à son propos : « Peut-il exister sans instance ? ».

---

[48] Deux remarques de terminologie : nous devrions certainement ici écrire « concret-2 », puisqu'il y a une différence parallèle entre divers sens du mot « concret » ; il est courant de parler des objets abstraits-Q comme des types, et de leurs occurrences concrètes-2 comme de leurs tokens, mais comme nous utilisons ces termes plus bas dans un sens qui nous est propre, mieux vaut les éviter ici.

[49] Pour un aperçu de la littérature sur les types, voir (Wetzel, 2018) et (Wetzel, 2009). Pour la distinction entre objets abstraits et objets concrets, voir (Rosen, 2018) et (Lewis, 1986a).

2.3.1.2.Le sens de la question : « Y a-t-il des universaux non-instanciés ? »

Cette question est aujourd'hui posée à l'égard des universaux, et nous devons expliquer pourquoi nous la repoussons. Si on se demande s'il peut y avoir des universaux sans instances, c'est qu'alors on considère les universaux comme des objets abstraits-Q. Soit donc la question U : « Y a-t-il des universaux non-instanciés ? » Une fois cette question posée, deux positions se démarquent : les « platoniciens » répondent affirmativement et admettent des universaux non-instanciés, tandis que les « aristotéliciens » les refusent en arguant qu'un universel n'existe pas s'il n'est pas instancié. En disant que notre thèse sur la nature de la généricité n'est que la seconde partie d'une théorie de l'instanciation, c'est précisément cette question que nous mettons de côté. En ne considérant pas les universaux comme des objets abstraits, nous n'envisageons pas comme concevables l'existence et la nature de propriétés qui ne seraient pas instanciées. Nous avons trois raisons d'écarter tout autre point de vue.

Premièrement, c'est une suite de la rigide contrainte que nous avons posée au tout début de ce travail, qui encadrait l'enquête ontologique par des exigences vérifactionnelles. Si nous envisageons ici l'existence d'universaux, c'est exclusivement comme solution au problème vérifactionnel des propriétés génériques. Or poser des questions à l'égard d'objets abstraits-Q nous fait sortir de ce cadre. L'enjeu de l'existence d'objets abstraits-Q sans instances concrètes est lié à la référence de certains termes singuliers utilisés dans le langage courant (« Le jeu d'échec a été inventé en Asie ») ou scientifique (« 2 est un nombre pair ») et à la possibilité de connaître des objets avec lesquels nous n'avons aucune interaction (Benacerraf, 1973). Les questions du mode d'existence ou de subsistance de ces objets, et de notre accès à eux, ne nous concernent absolument pas.

Ensuite, deuxièmement, cette exclusion des objets abstraits-Q nous semble en accord avec le langage scientifique quand il parle des propriétés quantitatives ou grandeurs physiques. Il est vrai que, parfois, on se réfère à ces grandeurs avec des termes singuliers, et qu'elles semblent entrer dans une sémantique comme individus logiques plutôt que comme propriétés, et qu'il semblerait adéquat de les analyser comme objets abstraits-Q. Par exemple, on peut lire : « La masse, telle qu'Einstein l'a décrite, n'est pas du tout la masse conçue par Newton ». Mais ce genre d'énoncés concerne plus souvent l'histoire des idées scientifiques que la physique elle-même, et que ce ne sont pas ces énoncés portant sur des objets abstraits qui font l'intérêt d'une théorie scientifique. En reprenant le terme à Armstrong, appelons naturalisme la thèse qui affirme que ce dont sont vrais les énoncés fondamentaux d'une théorie physique, à savoir les équations mathématiques reliant des grandeurs physiques, c'est la réalité empirique et non des objets abstraits-Q (Armstrong, 1997, p. 5). Par « réalité empirique », il faut entendre non seulement les choses ou événements observables, mais également tout ce qui est particulier mais inobservable, comme c'est le cas de certaines entités ordinairement dites « théoriques ». Par exemple, pour Armstrong, ce sens où les entités non-observables existent au même titre que les observables, c'est d'être dans l'espace-temps et d'être causalement efficace. Pour éviter d'avoir ici à

faire la distinction difficile entre l'observable et l'empirique, et à formuler un critère d'existence au sens duquel les deux sont dits exister, il est plus simple d'appeler l'ensemble de ces choses ou événements des « particuliers naturels ». Le naturalisme affirme donc simplement qu'une théorie physique est vraie des particuliers naturels, et non d'un monde intelligible peuplé d'objets abstraits-Q. Par conséquent, en suivant ce naturalisme qui est le nôtre, il n'y a pas de sens à concevoir des entités génériques qui ne seraient pas, par nature, incluses dans la nature, et qui pourraient exister sans instances.

Une dernière raison de refuser de poser la question U est qu'elle produit des ambiguïtés chez Armstrong lui-même. En vertu de son « naturalisme », il affirme que tout ce qui existe est, d'une façon ou d'une autre, dans l'espace et le temps, causalement efficace et connaissable par les sciences empiriques, et refuse l'existence d'universaux abstraits-Q. Son « naturalisme » est donc une réponse franche à la question U, qui affirme qu'il n'existe aucun universel non-instancié. Ces formulations supposent qu'on conçoive fort bien ce que serait « un universel non-instancié », mais que, *par ailleurs*, on ait de bonnes raisons de croire qu'il n'en existe pas. En donnant ses raisons, Armstrong défend son « aristotélisme naturaliste » à la fois contre les platoniciens, qui posent l'existence des universaux abstraits-Q, et les nominalistes, qui nient l'existence de tout universel.

Mais on peut aussi parfois lire « Tout universel n'existe qu'instancié dans des particuliers ». Or cette seconde formulation pose comme contrainte *sur la conception même de ce qu'est un universel*, s'il est, d'être dans les particuliers empiriques. Être un universel, c'est être instancié par des particuliers concrets. C'est alors un problème ontologique redoutable de comprendre comment est possible cette entité putative, qui serait identique à travers la pluralité de ses instances, et c'est ce problème traditionnel que nous affrontons ici comme « problème des propriétés génériques ». Or, comme on l'a vu en discutant la théorie d'Armstrong (chapitre I section 3.), l'aristotélicien n'est pas plus avancé que le platonicien pour résoudre ce problème ! Ce n'est pas parce qu'on nie l'existence d'universaux non-instanciés qu'on a conçu adéquatement la possibilité de ces entités génériques multiplement instanciées.

La question U et le problème des propriétés génériques n'ont donc aucune communication, et il ne faudrait pas croire résoudre le second en répondant à la première. Comment *peut* exister un universel, le même à travers de multiples cas ? En quel *sens* existe-t-il ainsi, s'il existe ? C'est à répondre à ce problème que s'attache la thèse VQ comme thèse sur la nature de la généricité.

2.3.2. Types, universaux, classes.

Nous allons défendre une conception ontologique de la généricité qui évite les difficultés attachées classiquement au réalisme des universaux.

La première difficulté vient du fait qu'admettre des universaux, en plus des particuliers, demande de renoncer à ce qui fait la force fondamentale du nominalisme, que nous appellerons « l'intuition particulariste » : tout ce qui existe est particulier. Ce qu'un nominaliste comme Abélard

niait, c'est précisément qu'il existât ce genre de « chose universelle » totalement contraire à l'intuition particulariste. Notre conception de la généricité nous permettra de ne pas renoncer à cette intuition, en expliquant en quel *autre* sens nous disons que les propriétés *existent*.

La seconde difficulté n'est qu'une suite de la première. Si, en effet, on admet qu'il existe des entités non-particulières, il faut alors admettre que ces entités n'ont pas le même rapport à l'espace et au temps que les particuliers, qui est un rapport de localisation unique.

Un particulier a une unique localisation dans l'espace-temps, s'il en a une. Nous précisons « s'il en a une », parce que nous ne faisons pas de la possession d'une localisation spatio-temporelle déterminée un trait essentiel de la particularité d'un particulier. La notion même de « possession d'une localisation » nous semble obscure, nous y reviendrons, et la théorie DVQ admettra parfaitement des particuliers non spatio-temporels. Mais admettons que les particuliers soient « localisés dans » l'espace-temps. On admet alors généralement que leur localisation est unique, au sens où ils ne sont pas *entièrement* en plusieurs localisations en même temps. En revanche, on admet très bien qu'un particulier puisse être « éparpillé » (*scattered*) dans l'espace-temps, et donc est en plusieurs endroits de l'espace-temps, mais seulement au sens où *ses parties* possèdent des localisations non-contiguës. Un particulier éparpillé n'est jamais *entièrement* présent dans ces diverses localisations.

Au contraire un universel, s'il est instancié en plusieurs particuliers spatio-temporellement situés, possède plusieurs localisations. On dit qu'il est « multilocalisé », au sens où l'universel est entièrement présent à différent endroit de l'espace-temps ; et la multilocalité est presque devenue, dans la littérature, un trait caractéristique des universaux comme entités non-particulières. Mais le problème est de savoir s'il y a même un sens à dire une entité multilocalisée, ou bien si la définition que l'on donne de cette multilocalité n'est qu'un *flatus vocis*, un mot inventé pour couvrir une absence de sens. Nous pensons que la multilocalité est le nom d'un problème qu'il vaut mieux éviter plutôt que résoudre.

Nous allons pour cela proposer la notion de « type » pour remplacer celle d'« universel » et analyser ontologiquement la nature des propriétés génériques. Il est donc nécessaire d'expliquer en détails la différence entre les deux notions, avant de revenir sur ces difficultés et comment la catégorie de « type » permet de les contourner.

2.3.2.1.La distinction entre types et universaux.

Sur la distinction entre universel et type, l'évolution d'Armstrong est très significative. En 1978, Armstrong utilise indifféremment les couples universel/instance et type/token. Un particulier qui est cas particulier de la propriété F s'analyse de la même façon en disant qu'il instancie l'universel F ou qu'il est un token du type F. Puis, il distingue nettement la notion d'universel en général de celle d'« universel de particularisation » ou « type d'états de choses », ce qui suggère qu'il a admet une différence importante entre le rapport d'instanciation entre un particulier et un universel et le rapport entre un état

de choses le type d'états de choses dont il est un token. Mais il se contente souvent de suggérer que les types d'états de choses ont « un rapport plus étroit » avec leurs instances que les universaux classiques. Mais à partir de *A world of states of affairs*, Armstrong identifie cette fois les universaux, *tous les universaux*, à des types d'états de choses.

Or Armstrong, même en basculant dans une conception des propriétés comme types d'états de choses, continue de penser que les instances de ces types se *ressemblent* et contiennent un *même* élément commun, l'universel. Cette conception de la communauté de divers particuliers remonte à la vieille théorie de *l'intensio*. Nous avons montré qu'elle contraint fortement la conception de la diversité des particuliers instances d'une même propriétés. Comme ces particuliers sont conçus comme identiques en nature, ils ne sont numériquement distincts qu'en vertu d'autre chose que de leur nature, c'est-à-dire leur particularité primitive d'individus concrets. Alors le piège nominaliste se referme fatalement sur le réaliste : Armstrong a beau clamer le caractère « non-relationnel » de son lien d'instanciation, il n'évite pas la régression vicieuse, puisque rendre compte de ce qu'ont en commun divers états de choses particuliers lui demandera toujours d'admettre une entité ontologiquement supplémentaire.

Mais si l'on examine en détail la notion de type, on s'aperçoit que sa relation à ses tokens est toute différente de celle d'un universel aux particuliers qui le possèdent. Wolheim souligne une différence cruciale entre les universaux et les types :

> Dans le cas des universaux, aucune des propriétés qu'une instance d'un universel a nécessairement, c'est-à-dire en vertu du fait qu'elle soit une instance de cet universel, ne peut être transmise à l'universel. Dans le cas des types, au contraire, exactement toutes les propriétés qu'un token a nécessairement, c'est-à-dire en tant qu'il est token d'un type, seront transmises au type. Donnons des exemples : le Rouge, comme on l'a vu, peut être exaltant, et si c'est le cas alors pour la même raison ses instances sont exaltantes, et la propriété est transmise. Mais le Rouge ne peut pas être rouge ou coloré, ce que ses instances sont nécessairement. Au contraire, l'Union Jack est coloré et rectangulaire, propriétés que tous ses tokens ont nécessairement ; mais, même si tous ses token se trouvent être fabriqué en lin, cela ne voudrait pas dire que l'Union Jack lui-même serait fait en lin. (Wolheim, 1980, p. 76)

Selon lui, la relation entre un type et ses tokens est beaucoup plus étroite qu'entre un universel classique et ses instances, parce ce que les propriétés qu'a un particulier en vertu seulement du fait qu'il est token d'un type, sont toutes en même temps les propriétés du type. On dit qu'une propriété p est transmise de A à B si B a p en vertu du fait que A a p. On observe donc, selon Wolheim, une transmission des propriétés des tokens vers le type qu'on n'observe pas des instances vers leur universel. Pour l'instant, ce fait de la transmission des propriétés nous suffit pour donner corps à la plus grande proximité entre un type et ses tokens qu'entre un universel et ses instances. Elle formule précisément, à notre avis, exactement ce qu'Armstrong pensait capturer avec la notion de « type d'états de choses » ou

d'« universel de particularisation » : le type n'est pas un objet non-particulier qui serait ontologiquement ajouté aux particuliers, pour qu'ils en soient des instances, mais il ne consiste qu'en ce que sont ces particuliers, comme instances d'un type générique. En particulier, on s'aperçoit qu'il n'y a pas besoin de postuler une entité non-particulière comme vérifacteur des énoncés portant sur la propriété elle-même. Si on conçoit la propriété comme type, tout ce qui est vrai d'elle est vrai de ses instances, c'est-à-dire de chacun des particuliers en vertu du fait qu'il est token du même type que d'autres.

2.3.2.2.La gratuité ontologique du type.

Nous pouvons donc expliquer en quel sens nous tenons qu'un type existe dès qu'une diversité de particuliers sont en rapport de variation quantitative. Comme ce sont des particuliers abstraits, ces particuliers ne sont que cela : des instances différentes de la même « propriété ». Puisque ce qui fonde leur distinction numérique n'est rien d'autre que ce qui les rassemblent comme instances différentes de la même « propriété », nous n'avons pas à faire un ajout ontologique à ce qu'ils sont déjà, pour analyser le fait qu'ils sont des instances du même type. Or cette « propriété », par conséquent, n'est analytiquement rien d'autre que le type d'états de faits dont ils sont les tokens différents. Les différentes instances de F se sont pas des particuliers qui possèdent une propriété F conçue comme un universel, qui existerait en plus et par-dessus ce qu'ils sont comme particuliers, mais elles sont des tokens du type « être instance particulière de F ». Le type ne désigne donc pas une entité non-particulière, mais seulement le fait que divers particuliers sont des instances différentes d'un même type d'instances. Par conséquent, ontologiquement parlant, l'existence du type n'ajoute strictement rien à l'existence de ses tokens, puisqu'il n'est que le fait que ces particuliers soient tokens du même type.

La « gratuité » ontologique du type est donc une suite directe de l'abstractivité de ses tokens. Mais elle apparaît plus clairement lorsqu'on souligne que ces tokens ne sont absolument pas ressemblants qualitativement, au sens où le type n'est pas du tout l'aspect par lequel les différents tokens, malgré leur distinction, se ressemblent. Tous les particuliers qui sont cas particuliers de M sont massifs, mais cela n'est pas une ressemblance qualitative, puisqu'ils sont tous différemment massifs (selon les différentes déterminations de masse qu'ils sont). Leur « être instance de la masse » n'est pas quelque chose qu'ils posséderaient et partageraient à l'identique, puisqu'ils l'instancient différemment. Par conséquent, dire qu'« il existe une propriété (F) » ce n'est pas ajouter aux particuliers qui instancient F une « chose universelle », car ce n'est rien dire de plus que « il existe des instances *particulières* du même type d'états de faits (les étants F) ». L'existence du type d'états de faits respecte donc totalement l'intuition particulariste : elle n'ajoute rien de non-particulier aux particuliers existants.

Le type « est » sans exister comme une entité non-particulière, qui s'ajouterait en plus et par-dessus (*over and above*) des particuliers qui existeraient déjà par eux-mêmes. Mais du coup, il sera utile d'examiner la différence entre cette catégorie de type et la notion de classe.

2.3.2.3.La distinction entre type et classe naturelle.

Depuis le départ, nous balançons entre les catégories de « propriété » et de « classe naturelle », qui sont équivalentes dans leur usage problématique. Mais maintenant, nous proposons DVQ comme solution au problème, comme analyse de la nature d'une « propriété » et de son instanciation dans les cas particuliers. Mais DVQ doit aussi, du même coup, donner le fondement ontologique de la différence entre classes naturelles et classes artificielles. Commençons par cela, avant d'expliquer ce qui distingue types et classes naturelles.

Nous disons, d'après la réponse de DVQ à Q_1, que différents particuliers qui sont des états de faits en variations quantitatives sont, en vertu seulement de ce qu'ils sont, des instances de la même propriété ou des membres de la même classe naturelle. Par conséquent, une classe naturelle est une classe dont les particuliers *sont* des membres de cette classe. Leur appartenance à la même classe que d'autres particuliers est leur nature particulière qu'ils sont. Au contraire, des particuliers qu'on regroupe dans une classe artificielle ne sont pas membres de cette classe. Par exemple, les différentes masses déterminées comme 1 kg, 2,67 kg, 3,7876 kg, etc., sont des particuliers qui sont des déterminations de la propriété M « être massif ». Elles sont en variations quantitatives les unes par rapport aux autres, parce qu'elles ne sont distinctes qu'en tant que déterminations différentes de la masse, c'est-à-dire façons différentes d'instancier une même propriété. Donc être une masse de 2,67 kg n'est rien d'autre qu'une une instance particulière (car déterminée) de la même propriété M. Par conséquent, nos différentes masses particulières sont toutes des instances de la même propriété (M), et donc la classe M est naturelle.

En revanche, une masse particulière de 1,43 kg et une charge particulière de 3,78 Coulomb ne *sont* pas des membres d'une classe MC qui serait naturelle : les masses particulières inférieures à 3kg et les charges particulières supérieures à 3 Coulomb. La classe formée par ces particuliers n'est pas naturelle, parce que ses membres ne sont pas des variations quantitatives les uns des autres, mais sont des particuliers distincts par une différence qualitative, puisque la propriété « être chargé » est différente de la propriété « être massif » (d'après leur rôle distinct dans les lois de la nature), ou bien par une différence numérique externe entre les particuliers qui sont, ici, massif et chargé (ce sont par exemple des individus différents, pour qui admet des individus). La classe des MC n'est pas naturelle.

Nous pensons donc qu'il existe un fondement ontologique à la différence entre classes naturelles et artificielles. Pourquoi, dès lors, préférer le terme de « type » à celui de « classe naturelle » ? C'est que la catégorie de classe ne nous semble donc pas adaptée à un usage analytique, parce qu'une classe naturelle n'est rien, ontologiquement parlant, de plus que ses membres, et donc en cela n'est pas distincte d'une classe artificielle. En effet, une classe ne consiste qu'en ses membres et n'est que cela. Les conditions d'identité ou de distinction entre classes sont claires : deux classes sont la même si et seulement si exactement tous leurs membres sont les mêmes. Donc la classe artificielle MC existe tout

autant que la classe naturelle M : comment dès lors les distinguer ontologiquement ? Nous pensons qu'il n'y a pas d'autre façon de le faire que de dire que la classe des M est la classes des particuliers qui *sont* membres d'une même classe, tandis que la classe des MC rassemblent des particuliers qui ne *sont* pas membres d'une même classe. Autrement dit, une classe n'est pas naturelle parce qu'elle « existerait plus » qu'une classe artificielle – qu'est-ce que cela voudrait dire ? – mais par ce que *sont* ses membres. La catégorie de classe est donc ontologiquement insuffisante, et nous avons besoin du type : une classe correspond à un type (et est donc naturelle) lorsque ses membres *sont* membres d'une même classe.

2.3.3. Conclusion.

Nous n'avons pu proposer une solution au problème des propriétés génériques qu'en n'entrant pas dans le piège nominaliste. Ce piège prenait l'allure d'un défi : être capable de concevoir comment existent des entités non-particulières en plus et au-dessus des particuliers qui les instanciaient. Contre cette configuration du problème, nous avons montré dans le chapitre II que la question de l'existence des propriétés ne se pouvait et devait trancher que par la conception de la particularité des particuliers, et du fondement de leur distinction numérique. Dans ce chapitre, nous avons donc proposé la théorie DVQ de la particularité. Nous avons fondé (thèse DQ) leur distinction numérique sur le fait qu'ils sont des instanciations déterminées d'une même propriété. Il nous restait alors à montrer en quel sens cette « propriété » pouvait être dite « exister ». La thèse VQ entraîne que divers particuliers qui sont des abstraits en variations quantitatives les uns par rapport aux autres (c'est-à-dire qui ne sont distincts *qu'*en tant qu'instances différentes de la même propriété) sont des tokens d'un type. Nous proposons donc de concevoir la nature des propriétés génériques comme celle de types d'états de faits particuliers.

Nous pensons donc avoir résolu le problème des universaux, d'une part en apportant notre propre solution, celle des types d'états de fait, et d'autre part en dissolvant les anciens termes du problème. En lui donnant certaines coordonnées bien précises, le nominalisme a fait de ce problème un piège pour le réaliste : comment concevoir le mode d'être générique alors que tout, tant l'expérience que nos intuitions, nous disent que ce qui existe est particulier ? On croit, en métaphysique, et cela au moins depuis que le nominalisme a fait son œuvre, que si plusieurs particuliers sont instances d'une même propriété (selon l'usage problématique du terme), alors ce par quoi ils sont distincts est autre chose que ce qui les rassemblent : soit par d'autres propriétés, soit par des accidents spatiotemporels, soit par leur individualité. En laissant se formuler le problème dans ces termes, alors le problème des universaux devient celui de saisir ce qu'il y a d'identique dans ou à travers les particuliers *malgré* leurs différences ou leur distinction.

Pourtant, aussi contraire au but recherche que cela puisse paraître, c'est grâce à la différence que le problème peut être résolu. En révisant drastiquement la conception de la particularité, nous avons montré comment concevoir une diversité interne de particuliers, qui diffèrent entre eux en tant

qu'instances de la même propriété. Le problème des propriétés n'est donc paradoxalement pas résolu en pensant une quelconque *identité qualitative* entre des particuliers différents, mais en proposant cette nouvelle conception de la *différence quantitative* contenue dans la théorie DVQ.

Les entités génériques que nous proposons alors, comme solutions positives au problème, sont des types d'états de fait. Ils réunissent des particuliers qui n'ont pour seul point commun que d'être des tokens du même type. Et le type en question n'est rien qui serait une « chose générale », partagée par ses instances ou présente en chacune, mais n'est que le fait que ces particuliers *sont* des instances différentes d'un même type d'instances. Le type n'est rien d'autre que les « êtres instances particulières du même type » de chacun des particuliers.

3. Argument vérifactionnel en faveur de DVQ.

Nous allons dans cette section expliciter deux premiers arguments en faveur de l'ontologie DVQ. Ce sont des arguments vérifactionnels, au sens où ils défendent cette théorie en tant qu'elle fait l'ontologie des vérifacteurs des attributions multiples des prédicats génériques. Selon le premier argument, la théorie DVQ est bonne parce qu'elle satisfait les deux conditions vérifactionnelles et nous semble la seule capable de le faire. Selon un second argument, la théorie DVQ doit être acceptée parce qu'en apportant une solution au problème des propriétés, elle permet en même temps l'élimination d'un certain nombre de postulats ontologiques superflus.

3.1.Particularité et généricité réunies.

Notre but, dans le cycle de ces trois premiers chapitres, est d'examiner diverses hypothèses ontologiques en présence, portant sur la nature de la particularité, de la généricité et de l'instanciation. Nous les avons jaugées à l'aune d'un problème, construit au début du premier chapitre, et qui porte sur la conception des propriétés et de leur instances, comme vérifacteurs de l'attribution à divers particuliers d'un même prédicat générique. Ce problème consistait dans la nécessité, et la difficulté, de satisfaire ensemble deux conditions qui contraignaient fortement la conception de ces vérifacteurs. D'après la condition de particularité, il fallait que les vérifacteurs de l'attribution du prédicat F aux particuliers a, b, c, etc., soient particuliers, et impliquent quelque chose de la particularité de a, b, c, etc., puisqu'en disant par exemple que « a est F », on dit quelque chose *du* particulier a, et non du particulier b ou c. Mais d'après la condition de généricité, il fallait en même temps concevoir ce qui rassemblait ces différents vérifacteurs, ce qu'ils avaient en commun, puisque de ces divers particuliers, c'est néanmoins la même chose que l'on dit : qu'ils sont tous F.

De l'examen des théories des universaux et des tropes, il ressort maintenant deux conclusions. La première est un rejet sans appel de la théorie des universaux et des états de choses. Elle est, selon

nous, totalement incapable de satisfaire en même temps ces deux conditions. Si elle s'attache à remplir la condition de généricité – ce pourquoi après tout sont faits les universaux – alors elle rate l'instanciation particulière. On dit que ce qui rend compte du fait que c'est le même prédicat qui est affirmé de divers particuliers, c'est que le même universel F est présent dans ces divers particuliers. Mais alors ce qui rend vrai « a est F », c'est F présent en personne, strictement identique à ce qui rend vrai « b est F », etc. Pour assurer au contraire la « victoire de la particularité » chère à Armstrong, il faut particulariser la présence de l'universel F par le particulier fin qui l'instancie ; il faut admettre des états de choses. Ce qui rend vrai « a est F », c'est la présence de F *en a*, c'est « a étant F ». La condition de particularité est satisfaite par la particularité des états de choses. Mais alors il faut rendre compte de ce que les états de choses F(a), F(b), F(c), etc. ont en commun, sans quoi jamais la condition de généricité ne sera satisfaite. Or, nous avons montré que le tenant des universaux ne pouvait pas y réussir, car il était contraint soit de faire passer en contrebande l'abstractivité des états de choses, ce qui est contraire à leur définition ontologique, soit d'entrer dans une régression vicieuse.

Dans l'ontologie des universaux et des états de choses, le rôle du particularisateur (qui satisfait la condition de particularité) et le rôle du fondement de l'appartenance à la classe des instances de la même propriété (qui satisfait la condition de généricité), sont joués par deux catégories d'entités distinctes : les particuliers fins, dont l'individualité numérique est donnée par hypothèse, et les universaux, dont la répétabilité est supposée. Il nous a semblé que pour satisfaire ensemble les deux conditions, il fallait préférer, avec la théorie des tropes, ne pas séparer ces deux rôles ou plutôt, concevoir une unique catégorie ontologique qui les remplisse tous deux.

C'est notre seconde conclusion : la théorie des tropes doit être préférée à celle des universaux parce qu'elle doit permettre, en principe, de résoudre le problème des propriétés génériques, grâce au fait qu'elle est une ontologie à catégorie unique. Mais nous avons également vu qu'il fallait, pour la faire fonctionner, résoudre le problème de la distinction des tropes. Puisqu'ils sont des particuliers abstraits, les tropes ne sont pas comme les états de choses *particuliers* par hypothèse. Il faut, bien au contraire, rendre compte de leur distinction et diversité. Nous avons pour cela proposé la thèse DQ et expliqué en quoi elle n'était qu'une suite de la définition des tropes comme « natures particulières », qui en fait une catégorie ontologique radicalement nouvelle. Deux tropes de la même classe ne sont distincts qu'en tant que déterminations différentes de la même propriété (ou du même type) ; et nous avons expliqué qu'il fallait comprendre cette différence de détermination comme une différence non-qualitative, et nous l'avons appelé « différence quantitative ».

Nous en sommes alors arrivés à proposer une ontologie où tout particulier qui existe *est* un cas particulier d'une même propriété que d'autres. La thèse DQ nous explique qu'il est numériquement distinct des autres cas de la même propriété parce qu'il en est une détermination différente. La thèse VQ énonce que deux cas particuliers de la même propriété ne différant qu'en cela, c'est-à-dire qu'en tant

qu'instances différentes de la même propriété, ils sont bien des particuliers abstraits qui sont, en vertu seulement de ce qu'ils sont, des cas particuliers d'une même propriété que d'autres.

Dans l'ontologie proposée par la théorie DVQ, il n'existe que des particuliers, ce qui satisfait l'intuition que la plupart d'entre nous est prête à accorder au nominaliste. Mais nous avons contesté la valeur du nominalisme comme théorie de la particularité. Nous lui avons préféré une ontologie où les particuliers sont, en vertu de ce qu'ils sont, des cas particuliers d'une même propriété que d'autres. Mais en même temps, nous concevons que « la propriété F existe » en un sens tout à fait restreint. L'existence de F n'est pas quelque chose d'unique que ses instances auraient en commun, ni une entité « en plus et au-dessus » d'eux, mais ne consiste qu'en le fait que ces particuliers *sont* des instances variées de F. Nous avons appelé ce fait l'existence du type F d'états de faits.

Enfin, nous avons proposé une définition métaphysique du « quantitatif », sans encore justifier pleinement le choix de ce terme, sinon par contraste avec le régime de distinction et de communauté propre aux qualités. Deux instances de la même qualité sont exactement ressemblantes, ou bien si l'on considère des états de choses, ont une ressemblance exacte sous l'aspect de la qualité considérée. Deux instances de la même qualité sont donc nécessairement en situation de diversité externe, dans la mesure où le fondement de leur variété se trouve en dehors de ce qu'elles sont comme instances de la même qualité. Nous avons appelée « quantitative » une propriété qui se détermine en s'instanciant, c'est-à-dire une propriété dont les instances sont distinctes, numériquement, parce qu'elles en sont des déterminations différentes. Nous avons appelé « variations quantitatives » ces différences entre instances de la même propriété. Enfin, nous caractérisons cette propriété comme « type quantitatif », c'est-à-dire comme le fait que divers particuliers appartiennent à la même classe naturelle en vertu seulement du fait qu'ils *sont* en variations quantitatives les uns par rapport aux autres. Un type n'est rien d'autre que l'ensemble de ces particuliers en variation quantitative. Nous aurons l'occasion, dans le chapitre IV consacré à l'ontologie des quantités, de justifier pleinement cette définition métaphysique des quantités.

3.2.Élimination du superflu ontologique.

L'ontologie proposée par DVQ n'est pas défendue seulement parce qu'elle offre une solution au problème qui semble fatal à la théorie des universaux et celle des tropes qualitatifs. Nous pensons qu'il faut l'admettre parce qu'elle occasionne aussi une économie importante. Elle nous dispense à la fois de postuler des universaux, c'est-à-dire des entités répétables et non-particulières, et des particuliers fins, c'est-à-dire des entités dénuées de nature en elles-mêmes et considérées indépendamment des universaux qu'elles instancient.

3.2.1.1.Élimination des universaux.

Comme expliqué au-dessus, nous n'avons plus besoin de postuler des propriétés qui existeraient à la façon des universaux, c'est-à-dire comme des entités non particulières et répétables, uniques et identiques à elles-mêmes à travers (*through*) leurs diverses instances. Même réduite aux « propriétés rares », la théorie des universaux est toujours victime du mal dénoncé par Quine : la confusion de la signification (*meaning*) et de la désignation (*naming*). Cette confusion est à l'origine de deux problèmes ontologiques distincts, que notre théorie a l'avantage de ne pas rencontrer.

Premièrement, elle nous conduit à penser qu'un unique et identique prédicat générique correspondant à une propriété rare désigne quelque chose d'unique et d'identique dans les divers particuliers auxquels il s'applique (une *intensio*). Nous avons expliqué en quel sens, selon nous, une propriété conçue comme un type est censée « exister » : seulement dans le sens où des particuliers divers *sont* instances de la même propriété, et fourni une analyse ontologique du fait « être instance de ». Mais nous n'avons pas à désigner, par le prédicat générique, un objet non-particulier comme un universel.

Surtout et deuxièmement, pointer la confusion entre *meaning* et *naming* est une façon de dénoncer l'hypothèque de la ressemblance qui pèse depuis longtemps sur l'ontologie des propriétés. Elle consiste à présupposer que les différents particuliers instances d'une même propriété sont tous instances de cette propriété de la même façon. Par exemple, que pour des particuliers a, b, et c bien distincts, et peut-être même qualitativement différents par ailleurs, leurs « étant vert » sont ressemblants et ces particuliers sont identiquement verts. Nous pensons que cette présupposition, que divers particuliers qui sont instances de la même « propriété » se ressemblent, vient tout droit de cette confusion entre *meaning* et *naming* : on se dit que le prédicat F, ayant une signification unique, désigne une chose unique à travers les particuliers où il s'applique (un universel), ou du moins désigne une unique et identique façon d'être instance de la même propriété ; et on croit alors à l'identité qualitative des instances d'une même propriété.

Mais nous avons montré avec la thèse VQ que des particuliers, pourvu qu'on les conçoive comme abstraits, ne sont pas instances de la même propriété parce qu'ils se ressemblent mais au contraire parce qu'ils ont entre eux une forme spécifique de différence non-qualitative, que nous avons appelée la variation quantitative. Par conséquent, cette propriété que nous concevons comme un type d'états de faits, n'est rien de commun entre eux, même au sens restreint d'un aspect abstrait sous lequel ils se ressembleraient. Un type d'états de faits n'a donc aucune intension. Nous éliminons donc les universaux parce qu'un prédicat générique ne désigne pas une propriété qui aurait une identité *intensionnelle*. Un type n'est au contraire rien d'autre que l'extension de ses tokens, pourvu que dans leur être, ces particuliers *soient* instances de ce type.

3.2.1.2.Élimination des particuliers fins.

Seconde grande économie, il est permis avec DVQ de se dispenser des particuliers fins en tant que particularisateurs. Le rôle de particularisation de la propriété est joué par la façon différente dont toute instanciation de cette propriété la détermine. Divers cas particuliers ne sont pas distincts numériquement parce qu'ils sont, antérieurement à l'instanciation de la propriété, des particuliers individuellement distincts, mais parce qu'ils instancient différemment la même propriété. Mais il y a un problème que toute théorie des tropes doit affronter, concernant les particuliers concrets. En admettant que la catégorie de « particulier concret » ne fasse pas objet d'un usage ontologique analytique, il demeure qu'il y a dans l'expérience courante des particuliers concrets, c'est-à-dire des objets qui sont, par exemple, de telle couleur, et ont telle forme, et son localisés ici ou là dans l'espace-temps. Un-e théorien-ne des tropes doit donc expliquer comment il conçoit la « fabrication » des particuliers concrets à partir des briques fondamentales de l'être qu'il identifie aux tropes.

La voie principale consiste à dire que les objets concrets, souvent macroscopiques, ne sont que des faisceaux de tropes. Il existe une voie minoritaire, qui réclame pour rendre compte de la concrétude des objets empiriques que les tropes soient instanciées par un substrat[50]. Mais ce serait admettre une seconde catégorie dans l'ontologie, et donc comme le signale (Armstrong, 1989), faire un pas dangereux en direction de la théorie des états de choses. (Maurin, 2016) défend à raison que pour des raisons de parcimonie, une ontologie à une catégorie doit, à puissance de fondation ontologie égale, être préférée.

Le problème de la composition des concreta *et le risque de régression.*

Mais pour analyser les particuliers concrets comme des faisceaux de tropes, il faut expliquer comment ces faisceaux sont composés. Les tenants des tropes font alors appel à une relation nouvelle de « compresence ». Un particulier est alors identifié à une réunion de tropes compresents. Mais en quoi consiste la relation de compresence ? Elle est généralement conçue comme externe, dans la mesure où deux tropes t_1 et t_2 ne sont pas compresents en vertu seulement de ce qu'ils sont. Cette nuance particulière du vert n'est pas nécessairement, en vertu du trope qu'elle est, compresente avec la forme particulière de cet étui à lunettes, puisque cet étui aurait pu être noir, ou ce vert être compresent avec une autre forme, dans un autre objet concret. Donc la compresence est une relation externe.

Mais dans ce cas, le partisan des tropes court un risque très important de régression vicieuse : car, à moins d'admettre un universel de « compresence », la compresence de t_1 et t_2 doit être analysée comme un trope de compresence, c'est-à-dire une compresence particulière c_1. Mais alors, comment

[50] Voir (Martin, 1980), (Heil, 2003) et (Lowe, 2006).

rendre compte du tout concret formé par t_1, t_2 et c_1 ? Il faudrait admettre deux nouvelles compresences particulières, c_2 et c_3, etc.[51]

Parmi les nombreuses tentatives pour sortir de cette impasse, signalons celle de (Simons, 1994)[52] qui propose de concevoir le particulier concret comme constitué en partie d'un « noyau » de tropes spécifiquement dépendants entre eux, et en partie d'un « halo » de tropes qui dépend spécifiquement des tropes du noyau. Le plus important ici est que la compresence n'est pas conçue comme primitive, mais fondée sur une relation de dépendance spécifique. Les tropes qui font partie du noyau « essentiel » d'un objet concret sont spécifiquement dépendants, au sens où la présence d'un trope d'une espèce naturelle de tropes entraîne la présence d'un trope d'une autre espèce. Pour les tropes du halo, ce n'est pas leur espèce déterminée qui est dépendante, mais leur espèce déterminable. Par exemple, un trope de couleur (déterminable) est essentiellement présent dans un objet volumineux, mais il est accidentel que ce soit un trope de cette couleur plutôt que de telle autre.

Il nous semble que la théorie de Simons vise juste, tout en ne s'apercevant pas que, par conséquent, elle annule totalement le problème de la compresence posé comme un problème *ontologique*. Nous sommes tout à fait d'accord pour dire que la compresence des tropes vient des relations de dépendance nomique entre les espèces de tropes. Par exemple, c'est une loi de la nature que pour qu'un particulier soit un électron, c'est-à-dire instancie le type « être un électron », il faut que soient compresents un trope de charge déterminée, un trope de masse déterminée, etc. Mais du même coup, cela veut dire que les faits de compresence ne sont pas des faits ontologiques mais physiques. Et il ne faut pas en rendre compte par l'analyse ontologique de la relation de compresence, mais par l'application d'une loi qui rend compte physiquement de leur nécessité ou de leur possibilité physiques. Il n'y a donc à notre avis pas d'espace pour un discours proprement ontologique sur la compresence des tropes, puisque les faits de compresence sont nécessaires ou possibles physiquement. Nous rendrons compte de la signification de ces termes dans le chapitre VII (section 3.3.).

Le problème de la « non-substantialité » des abstracta.

Un dernier problème posé par la théorie tropiste des particuliers concrets tient à la question de la « substantialité » des concrets : comment une somme de tropes, c'est-à-dire de particuliers *abstraits*, peut-elle donner un particulier qui est *concret ?* Ne faut-il pas ajouter un substrat, quelque chose comme un particulier fin « en-dessous », pour donner de la substantialité à leur réunion compresente ? Simons explique qu'on a dénoncé :

[51] Voir (Armstrong, 1978b), (Vallicella, 2005), (Cameron, 2008) et (Maurin, 2012).
[52] Reprise par (Keinänen, 2011) et (Keinänen & Hakkarinen, 2014).

> …la nature apparemment non-substantielle des tropes et donc leur incapacité, réunis en faisceau, à produire une substance. […] C'est, selon Armstrong, la raison pour laquelle les théoriciens tropistes essaient d'articuler les tropes en un quelque chose de plus substantiel. Mais bien sûr qu'ils le veulent, puisqu'ils cherchent à rendre compte des apparences, et ce sont des individus complexes qui nous apparaissent. [Mais] peut-être l'idée est que ce n'est pas en collectant, ou liant ensemble, autant d'entités dépendantes qu'on voudra, qu'on obtiendra plus qu'une entité dépendantes, ou une collection d'entités dépendantes. Donc l'existence d'une entité indépendante […] n'est pas assurée par l'analyse. (Simons, 1994, p. 561)

Il faut selon Simons rendre compte du fait que, compresents, ces particuliers abstraits forment un particulier *indépendant*, c'est-à-dire qui peut exister sans qu'aucun autre particulier concret n'existe. Mais on peut légitimement s'interroger sur l'origine de cette demande d'indépendance : pourquoi faudrait-il expliquer comment des tropes réunis forment des concrétions indépendantes ? L'indépendance, la capacité d'exister par soi, est une caractéristique définitionnelle de la catégorie traditionnelle de substance, par opposition à celle d'attribut ou d'accident, qui sont des entités dépendantes. C'est exactement cela que Simons a en tête, mais la demande ne nous semble pas légitime. Il nous semble que l'indépendance des particuliers conçus comme substances individuelles est précisément quelque chose dont nous pouvons *ne pas* rendre compte à partir de notre ontologie. Premièrement parce que, contrairement à ce que pense Simons, l'indépendance substantielle n'est probablement pas un fait empirique, une « apparence » qu'il faudrait sauver par une ontologie adéquate. Empiriquement, nous rencontrons des particuliers mais nous ne tombons pas nez à nez cette propriété ontologique d'indépendance.

Ensuite, deux autres raisons nous sont données par (Campbell, 1990, p. 21). D'abord, nous pouvons ne pas affronter le problème de l'indépendance substantielle parce que nous avons précisément exhibé une ontologie qui prétend se passer de substances individuelles, et qu'il serait alors contraire au but poursuivi de les introduire maintenant. Il restera alors à montrer que cette théorie, qui fait sans la catégorie de substance, fait aussi bien ce qu'on lui assigne de faire, car nous ne sommes pas aussi certains que Campbell que la théorie des tropes reçoit un soutien empirique supérieur à celle des individus primitifs et des propriétés. Dans ces trois premiers chapitres, nous avons montré que, s'agissant de résoudre le problème des propriétés génériques, elle semblait y réussir. Dans les chapitres suivants, notre but sera de montrer qu'elle permet aussi de résoudre adéquatement le problème de l'applicabilité des mathématiques.

Enfin, et par conséquent, une troisième raison de ne pas chercher à rendre compte de l'indépendance substantielle des particuliers nous est donnée, en connexion au problème précédent, par Campbell : la dépendance entre les tropes, comme l'indépendance entre les collections de tropes qui

forment des concrets, ne sont pas des faits dont il faudrait rendre compte ontologiquement, mais sont des faits nomiques, c'est-à-dire des conséquences des lois de la nature appliquées aux faits particuliers.

Les particuliers concrets comme faisceaux spatio-temporels de tropes.

Ainsi, nous analysons les particuliers concrets que l'on rencontre dans l'expérience comme des réunions de tropes, qui contiennent au moins un trope d'espace-temps. Cette dernière précision est importante, dans la mesure où on conçoit en général les particuliers concrets empiriques comme dotés d'une existence spatio-temporelle délimitée. D'après la théorie DVQ, ces cordonnées spatio-temporelles ne sont pour absolument rien dans la particularisation des particuliers. Mais cela n'est pas nier qu'il existe des particuliers concrets qui ont des propriétés spatio-temporelles ou qui existent dans l'espace-temps. Simplement, nous ne donnons pas à l'expression « exister dans l'espace-temps » la signification traditionnelle de la présence dans une région délimitée d'un espace-temps conçu comme un contenant. Les propriétés d'espace-temps ne dérogent pas à l'analyse proposée par DVQ de toute propriété comme type d'états de fait abstraits, en variations quantitatives les uns entre les autres. Par conséquent, les déterminations des propriétés d'espace-temps sont elles aussi à concevoir comme des tropes.

Nous proposons alors de concevoir que des déterminations quantitatives non spatio-temporelles (comme un masse ou une charge particulières) « existent dans l'espace-temps » si et seulement si elles sont compréssentes avec au moins un trope d'espace-temps. Et par conséquent, nous assurons qu'un particulier concret est bien spatio-temporel car il est un faisceau de tropes contenant au moins un trope d'espace-temps.

Nous reviendrons sur cette question dans le chapitre consacré au fondement métaphysique de l'induction, mais DVQ implique une conséquence remarquable concernant les particuliers conçus comme déterminations quantitatives : comme la localisation « dans l'espace-temps » n'est absolument pas responsable de leur particularité, et qu'ils sont particularisés seulement comme cas déterminés d'une même propriété que d'autres, nous admettons tout à fait des tropes qui n'existent pas dans l'espace-temps. Il doit même s'agir, comme nous le verrons, de la plupart des particuliers qui existent.

Ainsi, la théorie DVQ est pour l'instant défendue par deux arguments différents. Premièrement, parmi les grands types de théorie ontologique des propriétés que nous avons examinées, elle nous semble être la seule capable de résoudre le problème des propriétés génériques. Or nous avons aussi les moyens de dire que c'est un problème qui doit être résolu, dans la mesure où un nominaliste, qui n'admet pas de propriétés au sens analytique et ontologique du terme, et qui refuse de poser le problème (qui ne propose donc pas une thèse NAR), fait à son tour une très forte présupposition ontologique sur la nature de l'individualité, que nous avons de bonnes raisons de ne pas faire. Deuxièmement, et compte tenu de sa capacité à résoudre le problème des propriétés, la théorie DVQ doit être préférée parce qu'elle nous semble la plus économe. Nous pouvons expliquer ce que sont les particuliers, pourquoi un même

prédicat générique peut être appliqué à une multiplicité d'entre eux, et en quel sens on peut parler de « propriétés », tout en n'ayant recours qu'à une seule catégorie ontologique (des tropes ou déterminations quantitatives). Il faut se tourner maintenant vers ce qui est peut-être la première objection contre DVQ, c'est-à-dire le problème de la distinction *solo numero* et de la diversité discrète de particuliers qualitativement indiscernables.

4. Distinctio solo numero : les variations quantitatives discrètes.

Les thèses DQ et VQ réunies impliquent une conséquence peut-être fâcheuse : qu'il ne peut pas être deux particuliers qui sont instances de F *et la même détermination de F*. Autrement dit, cette théorie nie, en vertu même de ce qu'est l'instanciation d'une propriété, qu'il puisse y avoir deux particuliers qui sont des instances exactement ressemblantes de la même propriété. Par exemple, si des masses déterminées différentes, comme 1,54 kg et 1,67 kg, doivent correspondre à des instanciations distinctes de la propriété « être massif », alors DVQ interdit que deux particuliers aient ou soient la même masse, et ne se distinguent que numériquement. Or on tient généralement la *distinctio solo numero* pour possible : qu'est-ce qui empêcherait qu'un deuxième particulier massif instancie la même masse de 1,54 kg ? Si c'était le cas, cette masse déterminée serait une propriété, répétable en plusieurs particuliers, et non, comme l'affirme DVQ, une masse particulière, une instance de la Masse distincte des autres seulement comme détermination différente de la Masse.

4.1. Une objection puissante et doublement motivée.

Cette objection à la théorie DVQ vient donc de la possibilité de ce qu'on appelle la *distinctio solo numero*. Qu'est-ce que la « distinction seulement numérique » ? Elle désigne une situation où divers particuliers sont « de même nature » (usage projectif) mais distincts les uns des autres. Par exemple, a, b et c sont des émeraudes vertes. Dire que ces particuliers sont différents numériquement, rigoureusement, ce n'est que dire qu'ils ne sont pas *strictement* identiques, mais plusieurs : trois. Mais le terme *solo*, « seulement », est tout aussi important pour le sens métaphysique véritable de l'expression. Si l'on parle de distinction *seulement* numérique dans le cas, par exemple, des émeraudes, c'est pour souligner qu'il n'y a entre elles aucune différence qualitative, et que leur différence *n'*est *que* numérique. Autrement dit, les notions d'identité qualitative et de différence *seulement* numérique fonctionnent ensemble. On conçoit généralement la distinction numérique comme la honteuse mais moindre différence, qui ne doit pas cacher l'identité de nature entre les divers particuliers.

On admet intuitivement que cette situation de *distinctio solo numero* entre particuliers est possible. Or il semblerait qu'elle est en contradiction directe avec l'ensemble des thèses DQ et VQ. La thèse DQ enveloppe la négation directe de distinctions *solo numero* entre instances d'une même

propriété, puisqu'elle affirme que si deux instances sont distinctes (et elles le sont assurément, pour être deux), alors elles sont des *déterminations différentes* de la propriété. Or deux déterminations distinctes ne sont pas des instances exactement ressemblantes ou qualitativement identiques. Si donc la situation de *distinctio solo numero* est possible, des instances distinctes ne seraient pas nécessairement des déterminations différentes, et la thèse générale DQ serait fausse.

En conséquence, la thèse VQ serait rendue elle-même hautement problématique. Souvenons-nous qu'elle s'appuie essentiellement sur le fait que la diversité des particuliers considérés est interne, c'est-à-dire qu'ils se distinguent par exactement le même aspect qui les réunit, c'est-à-dire en tant qu'instances différentes d'une même propriété. Or si nous considérons que la distinction numérique produit une diversité externe (c'est cela qui paraît probable à notre objecteur), alors les divers particuliers ne seraient pas distincts seulement comme instances (différentes) d'une même propriété, mais par le nombre. L'une des prémisses essentielles à la thèse VQ serait inévitablement minée.

C'est le second énoncé, dans le raisonnement de notre objecteur, qui est central. Il pense que la distinction numérique engendre une diversité externe : si nous avons une diversité de particuliers qualitativement identiques, cette différence par le nombre passe effectivement par un autre aspect que celui qui les réunit. Ils sont réunis par la qualité ou conjonction de qualités en laquelle ils se ressemblent exactement. Donc quoi que désigne la « différence par le nombre », c'est manifestement autre chose que cette qualité : une différence en une autre qualité, ou bien dans le cas de particuliers qualitativement indiscernables, une différence spatio-temporelle ou bien une différence entre individualités.

Tout se joue donc sur l'admission, ou non, de la possibilité d'une situation de différence seulement numérique entre particuliers. Or il nous paraît y avoir deux motivations principales en faveur d'une telle possibilité, et donc contre notre propre théorie. D'une part, il peut sembler qu'on rencontre dans l'expérience des situations de cas exactement ressemblants, qui ne sont distincts que numériquement. La première motivation est donc empirique. D'autre part, la *distinctio solo numero* jouit d'une possibilité de principe attachée à la notion de particularité primitive, ou individualité.

Premièrement, n'y a-t-il pas en effet, de fait ou expérimentalement, des cas exactement ressemblants bien que divers ? On peut penser à ce qui sort d'une fabrication à la chaîne par exemple : deux ballons fabriqués par le même procédé, avec le même matériau, et peints de la même couleur, ne sont-ils pas deux états de choses exactement ressemblants ? On peut aussi penser aux résultats répétés d'une même expérience scientifique : produits selon le même protocole expérimental, dans des conditions exactement similaires, on s'attend à ce que deux résultats numériquement distincts soient qualitativement les mêmes, et toute dissemblance plus que numérique révèlerait un grave problème dans le dispositif expérimental ou la théorie. Enfin et surtout, deux atomes d'Hydrogène par exemple, ou bien deux particules élémentaires de la même sorte, comme deux électrons, ne sont-ils pas évidemment distincts solo numero ?

Deuxièmement, après les objections de fait, déjà très fortes, arrive une objection de principe. C'est le moment de reprendre où nous l'avions laissée la discussion sur la particularité primitive, ou individualité. Ne faut-il pas lui faire droit ? Deux choses ou deux cas ne peuvent-ils pas être distincts, bien qu'identiques en qualité ou en nature, en vertu de leur particularité intrinsèque, qu'il faudrait prendre comme primitive ? Autrement dit, l'existence d'individus primitifs est si admise et intuitive, qu'il faut considérer comme possible une situation où des particuliers sont distincts parce qu'individus, bien qu'ils soient identiques en nature. Si notre théorie DVQ devait entraîner la négation de quelque chose d'aussi élémentaire, dira-t-on, que l'existence d'individus, le coup qu'elle recevrait lui serait fatal.

Nous allons répondre patiemment à chacune de ces variantes de l'objection de la *distinctio solo numero*. Mais il faut dès maintenant dire que ce que nie la thèse DVQ n'est que la distinction dite « seulement » numérique, c'est-à-dire celle traditionnellement couplée avec l'identité qualitative. En un autre sens de l'expression « distinctions numériques », conçues comme variations quantitatives, la théorie DVQ loin de les nier, affirme au contraire qu'il n'y a que des distinctions numériques (entre instances d'une même propriété) ! Elles peuvent être continues, comme pour la distinction entre différentes masses particulières, soit discrètes, comme la distinction entre différents électrons. Mais dans un cas comme dans l'autre, la distinction numérique ne doit plus être conçue comme l'ultime différence, la plus pauvre, celle qui reste quand on a éliminé toutes les différences qualitatives. Elle est au contraire la distinction fondamentale entre particuliers.

4.2.Réponse à la dimension empirique de l'objection.

Pour répondre à la dimension empirique de l'objection, nous allons considérer une variété de cas empiriques que l'on tiendra non seulement pour possibles, mais bien réalisés, et qui semblent présenter des situations de *distinctio solo numero*. Nous disons « semblent présenter », parce qu'il n'est jamais évident qu'on puisse trouver des contre-exemples strictement empiriques à des thèses ontologiques. Pour valoir véritablement comme *contre-exemple* à notre thèse ontologique, un cas empirique est en réalité reconstruit dans le cadre de la thèse ontologique adverse, et n'est donc pas strictement empirique. Sa force de contre-exemple n'est pas celle d'un fait, et dépend entièrement de la probabilité propre de l'ontologie adverse. Si, à l'inverse, on se donne une pure situation empirique, on s'aperçoit que nos thèses ontologiques sont tout aussi capables que les adverses de l'analyser et de l'incorporer dans leur cadre, et c'est bien ce que nous allons montrer sur ces divers cas. Mais en aucun cas l'expérience nous apparaîtra en mesure de trancher entre deux ontologies rivales.

4.2.1. Réponse de principe.

Voici comment un adversaire pourrait présenter ses contre-exemples empiriques. Nous connaissons et expérimentons couramment la distinction seulement numérique, quand on rencontre dans l'expérience des états de choses qualitativement identiques. Prenons par exemple le cas des ballons fabriqués à la chaine, selon un plan rigoureusement défini. On a des états de choses distincts mais aussi ressemblants qu'on voudra : tous sont identiquement rouges, rond, gonflés, brillants, d'un même poids déterminé, etc. Comment nier que ces divers particuliers ne sont distincts que numériquement ?

Nous répondons qu'il faut examiner ce qu'on met ici sous le terme de « particuliers », et faire la différence entre *état de choses* et *états* de choses. La notion d'« état de choses » est une catégorie ontologique possible, que pour notre part nous refusons. Utiliser cette catégorie pour décrire ces ballons, c'est leur prêter une structure ontologique, et les déterminer comme des compositions de particuliers fins et de plusieurs universels ou qualités (la rougeur, la rotondité, etc.). Comme ce contre-exemple présuppose la validité ontologique de la catégorie d'état de choses, l'objection est facile à contrer. D'une part, elle doit en effet répondre à toutes les difficultés que nous avons soulevées contre la théorie des états de choses, qui à notre avis sont fatales. Mais surtout, d'autre part, divers états de choses ne sont distincts *solo numero* que parce qu'on présuppose la distinction numérique des particuliers fins qui les composent. Les états de choses tiennent leur distinction des particuliers fins, qui sont les véritables ressorts ontologiques de particularité dans la théorie des états de choses. Nous examinerons leur cas plus bas. Mais empiriquement, nous ne faisons donc face qu'à des *états* divers, qu'on pourra dire « de choses » si l'on veut, sans que cela n'implique une quelconque analyse ontologique.

Évidemment, on pourrait présenter le cas des ballons non plus dans le vocabulaire des qualités et des états de choses, mais dans celui des tropes (et des individus comme faisceaux de tropes compréssentes). Nous ferions exactement les mêmes réponses. Le problème de la distinction des tropes exactement ressemblants, qui nous a semblé fatal pour leur théorie, demeure. Mais surtout, même dans l'hypothèse à la Campbell d'une particularité primitive accordée aux tropes, nous nous retrouvons non plus face à un cas empirique mais face à un cas *a priori* possible, que nous examinons ensuite.

Il nous reste donc à montrer comment nos thèses ontologiques permettent, à leur façon, de présenter et de rendre compte des cas empiriques qui pourraient leur poser problème. Nous n'allons pas reprendre l'exemple des ballons, qui est manifestement taillé pour des catégories ontologiques qui ne sont pas les nôtres. Mais nous devons considérer des cas empiriques d'états (dont il importe peu de savoir s'ils sont « de choses ») qui sont divers et qui pourtant ne sont pas différents par l'aspect qui les réunit, et qui semblent donc bien présenter des *distinctio solo numero*. Pour renforcer la difficulté, nous choisirons à chaque fois des états quantitatifs, dans la mesure où c'est précisément de ce genre de cas que nos thèses DQ et VQ prétendent donner la meilleure ontologie. S'il se trouve des cas d'états quantitatifs divers et pourtant identiques en nature, l'effet serait dévastateur.

4.2.2. Traitement par DQ de divers exemples empiriques.

Dans chacun de ces exemples, dont nous espérons la liste suffisamment représentative, nous maintiendrons que la thèse DQ a effectivement pour conséquence de nier la diversité des cas particuliers qui ne sont pas des déterminations différentes de la propriété.

4.2.2.1. Cas de deux états physiques qui seraient la même détermination d'une grandeur donnée, pour une raison empirique.

Imaginons en effet deux objets qui, comme on dit, possèdent la même masse de 3 kg. Ici, l'égalité des masses des deux objets est déterminée par une procédure empirique qui donne sa signification à l'égalité : par exemple l'équilibre entre les deux plateaux d'une balance. Admettons également que nous avons affaire à deux états distincts, en deux objets distincts, puisque même si elles sont égales, on considère ordinairement que pour deux objets distincts il y a deux masses distinctes. Qui pourrait nier qu'on peut très bien avoir deux objets qui ont la même masse de 3kg, d'après ce que nous dit la balance ? On a l'impression que l'objection est très forte, parce qu'elle nous présente deux cas égaux *pour une raison empirique et physique* (l'état d'équilibre statique de la balance).

Mais ce qui fait la force apparente de l'objection, est en réalité sa faiblesse. Car l'état d'équilibre physique entre les deux plateaux de la balance n'est justement pas le cas idéal d'égalité mathématique parfaite. Il est beaucoup plus plausible de penser qu'en fait, les deux masses sont légèrement différentes, aussi minime qu'on veuille concevoir leur écart, et que c'est l'imprécision de l'instrument qui nous présente ces deux masses comme égales alors qu'elles sont certainement différentes. Un frottement minime dans la balance amalgame les deux masses. Ainsi, parce que l'on compare des états physiques et non des valeurs mathématiques, ce genre d'égalité entre deux états particuliers n'est pas à interpréter comme un cas réel de particuliers distincts seulement numériquement.

Notre réponse à ce cas empirique peut aisément être transposable à tous les cas où une identité entre deux déterminations quantitatives dépend en réalité de l'idéalisation mathématique du phénomène. Mais c'est à partir de ce premier cas que peuvent s'élaborer deux autres contre-exemples redoutables, qui vont nous permettre d'affiner considérablement la thèse DQ.

4.2.2.2. Cas de deux états qui possèdent la même détermination d'une grandeur donnée, pour une raison mathématique.

Concevons maintenant une égalité de deux déterminations quantitatives, en deux objets ou événements différents, qui n'est pas le résultat d'une procédure empirique de mesure, mais une

conséquence de la continuité des processus physiques. Par exemple, si l'on représente l'altitude d'un randonneur qui grimpe le sommet du Vignemale dans les Pyrénées par une fonction continue de la distance parcourue au sol, alors on sait qu'en redescendant, on repassera par toutes les valeurs d'altitude traversées dans l'ascension (d'après le théorème de Bolzano dit « des valeurs intermédiaires »). On aurait donc ici deux états d'altitude tout à fait distincts dans le temps, qui sont pourtant identiques comme états d'altitude. N'est-ce pas un cas de *distinctio solo numero*, qui tient pour une raison mathématique et donc ne souffre plus cette fois de l'imperfection des situations physiques ?

On pourrait concevoir un exemple plus scientifiquement pertinent lié aux processus de conduction thermique et de dissipation de la chaleur, que l'on mathématise par des fonctions continues. Imaginons une plaque de métal de température initialement uniforme T_1, que nous touchons avec la pointe d'un fer chauffant, qui reste tout le long de l'expérience à la température de T_2. Nous maintenons le contact jusqu'à ce que le point de contact P, ainsi qu'une zone suffisamment ample autour de lui, soient amenés à la température T_2, puis nous retirons le fer. Comme il y a un écart entre cette zone centrée sur P, à la température T_2, et le reste de la plaque autour à la température T_1, la chaleur contenue cette zone se dissipe nécessairement dans toute la plaque, jusqu'à ce qu'elle regagne un état de température uniforme T', compris entre T_1 et T_2. Les équations gouvernant le processus de dissipation thermique sont aux dérivées partielles, et donc supposent la parfaite continuité des modifications du champ thermique sur toute la surface de la plaque de métal. On est donc certain, d'après les lois de la continuité mathématique, qu'il existe une infinité d'états de température, entre T' et T_2, par lesquels le point P est passé deux fois.

Pourtant, à nouveau, nous maintenons la thèse DQ qui affirme que deux particuliers distincts qui sont cas de la même propriété sont deux déterminations différentes de cette propriété (ici, l'altitude ou la température). Mais cette thèse n'est pas maintenue par le même biais que dans le premier cas empirique. Alors qu'au-dessus nous affirmions que les deux déterminations étaient différentes, nous nions maintenant que les deux particuliers soient distincts. Les deux états de température (ou d'altitude) ne sont pas deux, mais un seul état. Si c'est le cas, alors ces situations empiriques ne constituent plus aucun contre-exemple à la thèse DQ.

Pour comprendre comment nous pouvons affirmer cela, il faut se souvenir que nous concevons les déterminations quantitatives comme des tropes de quantité. Il faut répéter la définition d'un trope comme « nature particulière » : elle est une existence particulière et distincte par les déterminations contenues dans sa nature. Autrement dit, un trope n'est pas un existant distinct des autres par ses coordonnées d'espace et de temps, ou par aucun autre facteur de particularisation, mais par sa nature déterminée[53]. Examinons alors l'exemple des deux états similaires de température. Pourquoi dit-on

[53] Évidemment, dans le cas particulier d'un trope spatiotemporel, ces deux vecteurs de particularisation coïncident. Un trope spatiotemporel, comme une position, est bien particularisé par ses coordonnées d'espace-temps, mais parce qu'elles expriment sa nature déterminée particulière.

qu'ils sont deux ? Parce qu'on considère comme deux particuliers le point P à l'instant t_1 (P_1) et ce point P à l'instant t_2 ultérieur (P_2). Il est clair que, dans ce dispositif, on étudie les rapports empiriques entre les points-instants de la plaque et les états de température. Mais pourquoi ne pas accorder qu'un même état de température T' puisse être associé empiriquement à deux points-instants distincts, P_1 et P_2, comme on le lirait sur un graphe ? Pourquoi croit-on qu'associé à ces deux particuliers P_1 et P_2, ce n'est pas un même état de température T', mais deux cas exactement similaires de la température, sinon en posant un cadre ontologique préalable ?

Rien n'empêche, dans l'analyse ontologique de cette situation, de maintenir la thèse DQ en niant que T' soit instancié deux fois, en deux états particuliers distincts de température. Il y a une seule instance de T', car T' est un cas particulier de la température, une façon particulière d'instancier la propriété température. Simplement, T' est un trope associé (empiriquement, ou nomologiquement si cette association est expliquée par une loi) à deux points-instants distincts. De plus, nous pensons que le cadre ontologique que nous proposons pour analyser la situation est bien plus proche de ce qui se trouve représenté scientifiquement, quand un graphe décrit les associations empiriques relevées entre les états de température et les points de l'espace-temps. Sur un graphe, un même état particulier de température placé en ordonnées peut être associé à plusieurs points de l'espace-temps disposés en abscisses. Qu'y voit-on de choquant ?

Il y a deux façons, néanmoins, de comprendre le choc ou la difficulté d'acceptation suscités par la thèse DQ. Premièrement, dans notre exemple, il reste une tendance à attribuer les états de température aux différents points-instants de la plaque de métal, comme on attribue une propriété à un individu. Mais cette façon de voir est celle des états de choses, où les propriétés sont instanciées et particularisées par les particuliers concrets qui les supportent. Mais la thèse DQ nous offre tout simplement une autre façon de concevoir la particularisation et l'instanciation de la température : elle est particularisée par détermination. Comme l'état T' est une seule et unique détermination de la température, et ne tire pas sa particularité des points P_1 et P_2, alors il est une seule et unique instanciation de la température.

Deuxièmement, si comme nous le disons l'état T' est un seul et même particulier (trope quantitatif) associé aux deux particuliers P_1 et P_2, alors on peut avoir l'impression que T' est un seul particulier situé pourtant en deux points différents, et s'en trouver gêné. Abordons rapidement ce problème multilocalisation de T', en nous demandant si T' est vraiment multilocalisé, situé dans plusieurs lieux. Si c'est le cas, penserait-on, alors le problème serait double : non seulement T' ne serait plus un, mais plusieurs (deux), mais aussi T', en étant multilocalisé, pourrait cesser de nous apparaître comme un particulier pour devenir à son tour quelque chose comme une propriété ou un universel.

Or, nous nions tout simplement que T' soit localisé « dans » l'espace-temps, et nous demandons à notre objecteur de bien vouloir nous expliquer ce que signifie « être *dans* l'espace-temps ». Ce que nous voyons, c'est un même particulier associé à deux points distincts de l'espace-temps. T' est parfaitement distinct en lui-même, et n'a pas besoin de tirer sa distinction de celle de ces points. Si

« avoir plusieurs localisations » ne signifie que cela, alors cela ne contredit ni son unicité ni, surtout, sa particularité. De plus, si la localisation dans l'espace-temps était une propriété ou un facteur de particularisation, alors selon la thèse DQ, deux états de température distingués par leurs localisations seraient à voir comme des déterminations distinctes d'une propriété plus complexe, la « température-lieu ». Mais alors ces deux cas de « température-lieu », comme déterminations différentes, n'auraient de toute façon aucune identité qualitative ou ressemblance exacte, et le problème ne se poserait pas. Ainsi, dans l'esprit de notre objecteur, la « localisation dans l'espace-temps » serait cette forme de particularisation qui n'est pas une détermination : précisément ce que nie la thèse DQ.

La difficulté vient peut-être, aussi, d'une ambiguïté associée au terme d'« occurrence ». Compte-t-on une ou deux occurrences de l'état T' ? Si occurrence signifie instanciation du type (d'états de fait « être d'une température particulière »), alors nous le répétons, il n'y a qu'une seule occurrence. Mais on distingue parfois occurrence du type (token) et occurrence de token (Wetzel, 2018) : aurait-on à faire à deux occurrences de T', c'est-à-dire deux occurrences de ce token particulier du type de la température ? Mais l'expression « occurrence de token » ne veut rien dire. Un token est une occurrence d'un type, mais ne peut pas être ce qui « occure ». Lorsqu'on parle d'« occurrence de token (du type T) », ce qu'on désigne par « token » est en réalité un type plus déterminé que le type T. Et le rapport entre types plus ou moins déterminés n'est pas un rapport d'occurrence. En revanche, considérons si l'on veut bien le type le plus déterminé : celui dont des particuliers qui existent sont les tokens « occurrants ». Ce que dit la thèse DQ, c'est que ces occurrences ne sont pas des apparitions dans l'espace et le temps d'un type unique, mais sont des déterminations de ce type, qui le particularisent sans recours aucun à des coordonnées ou positions dans l'espace-temps. L'instanciations d'un type en ses tokens n'est pas quelque chose qui se passe dans l'espace et le temps.

Ainsi, en tenant fermement à l'écart des intuitions qui soit tiennent à une ontologie adverse (qui considère l'instanciation comme la particularisation par un particulier préalable), soit sont informées par un héritage métaphysique classique (qui nous présente l'apparition à l'existence particulière comme quelque chose qui se passe dans l'espace-temps), nous ne devrions avoir aucune autre difficulté à maintenir la thèse DQ dans l'analyse ontologique de ces cas empiriques, où apparemment deux états distincts possèdent la même détermination quantitative. Nous disons qu'en réalité c'est une seule et même instanciation, puisque c'est une seule et même détermination.

4.2.2.3. Cas de deux états qui possèdent la même détermination d'une grandeur donnée, pour une raison théorique.

Le troisième cas que nous pouvons imaginer, et qui pourrait sembler contredire la thèse DQ, est tout aussi intéressant que le précédent, et provient de la définition théorique et quantitative d'un concept

physique. L'identité des déterminations quantitatives semble en effet un élément constitutif de la nature de certaines entités, comme les atomes ou les particules élémentaires.

L'exemple des électrons.

Par exemple, il entre dans la définition théorique de la nature d'un électron que tout électron possède une masse déterminée de 511 keV/c^2 (notée *m*) et une charge déterminée de -1 e. Mais dans ce cas, ne doit-on pas reconnaître comme une loi de la nature que « tous les électrons possèdent une masse déterminée *m* » ? Si c'est le cas, comme la théorie physique l'affirme, alors il y aurait autant de déterminations (quantitatives) de masse *m* que d'électrons, qui sont toutes égales. On aurait là une objection terriblement puissante, dans la mesure où nous ne pourrions maintenir contre elle la thèse DQ qu'en niant une des propositions de la physique des particules les mieux confirmées !

Pourtant, il est toujours aussi fallacieux de présenter une proposition physique comme une objection à une thèse ontologique. La situation décrite théoriquement, celle d'une pluralité d'électrons dont les masses sont toutes identiques en nature (et en quantité) les unes aux autres, présuppose pour contredire la thèse DQ la validité d'une ontologie concurrente. En effet, c'est encore considérer que ce qu'on désigne comme « la masse déterminée m » est en soi-même quelque chose de non-particularisé, pour présenter ses diverses possessions par les électrons particuliers comme ses particularisations. Autrement dit, c'est croire encore que c'est en s'instanciant dans un électron individuel, que « la masse déterminée m » devient particulière. Pour compter dans la situation décrite plusieurs occurrences de « la masse m déterminée », il faut en un mot concevoir « la présence de la masse m dans un électron » selon la théorie des états de choses, conception que l'on peut tout à fait rejeter.

Il peut paraître frustrant de faire, au fond, la même réponse au cas scientifiquement important des électrons tous similaires, qu'à celui des ballons tous ronds et rouges qui sortent de l'usine. L'égalité des déterminations quantitatives des divers électrons paraît une proposition beaucoup plus fondamentale que dans le cas ordinaire et macroscopique des ballons. C'est ce que c'est qu'un électron (ou le type « être un électron ») qui est en jeu : si posséder la masse déterminée *m* est une propriété essentielle de tout électron, alors il est peut-être trop coûteux de ne pas rendre compte de ce fait sous prétexte de soutenir la thèse DQ. C'est pourquoi nous aurons à y revenir, pour approfondir l'analyse de ce type de diversité de particules élémentaires toutes similaires. En un mot, nous maintiendrons qu'à travers les divers électrons, c'est bien une seule et même instanciation de la masse qui correspond à la masse m déterminée (en conformité avec la thèse DQ), mais que cette unique déterminité est associée à un unique type d'états de fait « être *un* électron », qui lui est instancié plusieurs fois. Nous y reviendrons donc à l'occasion de la présentation de la théorie de l'individu (ou des quantités discrètes).

L'exemple des quanta.

Nous pouvons concevoir une situation de diversité de particuliers dont le traitement par la thèse DQ sera rigoureusement inverse. Dans le cas des électrons, nous nous en sortons en expliquant que la pluralité des cas n'était pas celle des instances de « la masse déterminée m », mais celle des instances du type d'individus « être un électron ». Mais que dirons-nous, si nous n'avons plus le ressort de ce type d'individus ? Prenons l'exemple d'une pluralité de particuliers qui sont *et ne sont que* des déterminations quantitatives ; c'est-à-dire, concevons une diversité de tropes quantitatives qui n'est aucunement surimposée à une diversité d'individus. Par exemple, divers *quanta* d'énergie dans un rayonnement.

Considérons les *quanta* d'énergie, tels que les définit l'hypothèse que fit Planck pour expliquer les échanges d'énergie lors des rayonnements électromagnétiques. Si un corps émet un rayonnement d'énergie E, cette énergie est égale au produit de sa fréquence v et d'un multiple entier de la constante de Planck h. Autrement dit, le rayonnement contient une pluralité de cas particuliers qui sont numériquement distincts, mais qui sont tous des « paquets » d'énergie de quantité hv. Ils ne sont donc pas nus, mais ont une nature tout à fait déterminée ; et ils sont pourtant tous exactement ressemblants, comme paquets d'énergie et de quantités égales. Il semble particulièrement adéquat de les décrire comme des tropes quantitatifs, jouissant d'une particularité primitive ou individualité telle que postulée par Campbell. Quel meilleur contre-exemple à notre thèse DQ ?

La thèse DQ est le refus du couple de notions « identité en nature » et « différence *seulement* numérique ». Si des particuliers sont des déterminations quantitatives identiques, alors c'est un seul et même particulier et inversement, s'il y a différence numérique entre particuliers alors elle implique une différence de détermination entre les natures particulières que *sont* ces particuliers (comme tropes quantitatifs). Revenons aux *quanta*, et appliquons la thèse DQ : si divers *quanta* sont bien des particuliers distincts, alors ils sont des déterminations quantitatives distinctes. Mais comment divers *quanta* peuvent-ils correspondre à des déterminations quantitatives différentes, quand tout *quantum* fait exactement $h \approx 6{,}62607 \times 10^{-34}$ J.s ?[54]

Nous maintenons que les divers *quanta* sont des déterminations quantitatives distinctes. Mais pour le montrer, il faut bien s'entendre sur ce dont nous avons une pluralité, ici. Que comptons-nous comme plusieurs, dans le cas des quanta ? C'est la question cruciale. Nous disons que si nous comptons plusieurs fois h, c'est-à-dire plusieurs fois une certaine quantité de joules.secondes, alors nous ne comptons pas des quanta, mais des joules.secondes. Si, par exemple, un rayonnement émet la quantité 10 h. De quoi cette quantité est-elle la diversité ? Si nous comptons une même quantité h qui se répète de façon égale, alors nous comptons une pluralité de joules.secondes. Nous déterminons, par une simple

[54] Évidemment, l'imprécision « ≈ » n'est plus du tout un effet de la faiblesse de notre instrumentation, mais signifie que l'expression numérique n'est qu'approximative. Elle ne peut donc plus être utilisée pour expliquer qu'en réalité, les divers quanta sont des déterminations quantitatives distinctes. C'est pour des raisons théoriques, et non de mesure empirique, qu'est posée l'égalité de tous les *quanta* d'énergie, c'est-à-dire la constance de la quantité déterminée h.

multiplication, une quantité déterminée dans le spectre continu de ces grandeurs : 10 x $h \approx 6{,}62607\times10^{-33}$ J.s. Mais alors nous ne comptons pas des quanta !

Si, en revanche, nous voulons parler de cette diversité comme d'une diversité de *quanta*, alors nous comptons chaque *quantum* pour 1 et avons devant nous 10 particuliers distincts. Maintenant, si chaque *quantum*, comme trope quantitative, est identique à un autre, c'est seulement au sens trivial de 1 = 1. Nous faisons alors face à plusieurs particuliers qui sont *distincts numériquement*. Répétons la thèse DQ : si ces divers quanta sont bien des particuliers distincts, alors ils sont des déterminations quantitatives distinctes. Nous faisons alors la même réponse que dans le cas des électron : ce sont des déterminations numériquement distinctes du type « être *un quantum* ». Autrement dit, nous devrons maintenant concevoir la distinction numérique comme une différence de déterminations quantitatives – ce que nous allons faire dans la section 4.3. par une analyse ontologique des quantités discrètes.

Mais que répondre si, enfin, on nous objecte que par cette double réponse, nous passons sous silence le fait qu'un *quantum* est identique à *h* Joules.secondes, et que par conséquent, compter des quanta ou compter *h* Joules.secondes est la même chose ? Nous répondons que cette identité est un fait nomologique et non ontologique, et que nous n'avons pas à en rendre compte, parce que nous ne faisons pas de la physique, mais de la métaphysique. C'est effectivement un énoncé nomologique qui dit l'identité du type « être un quantum d'énergie » et de la détermination de *h* Joules.secondes. Mais cela ne contredit pas le fait que, d'un point de vue ontologique, compter des *quanta* individuels et compter des joules.secondes n'est pas déterminer la même quantité.

4.2.3. Et l'induction ?

Il nous faut signaler, pour conclure cette section sur les situations empiriques de *distinctio solo numero*, une connexion très importante avec le problème de l'induction.

En effet, on nous demandera : en évacuant la possibilité de cas distincts numériquement et qualitativement identiques, ne s'interdit-on pas du même coup la répétition d'une même expérience, si cruciale pour la démarche expérimentale et la confirmation inductive des hypothèses ? En appliquant plusieurs fois le même protocole expérimental, dans des conditions similaires, on attend des résultats exactement ressemblants, quoiqu'évidemment distincts en nombre. C'est même, dit-on, leur nombre croissant de cas similaires, qui donne sa force à l'induction, et son poids à la conclusion : l'hypothèse est empiriquement confirmée. Bref, on se départirait sans réfléchir de ce qui fait, selon cette opinion, l'essence d'une expérience scientifique, sa « reproductibilité à l'identique ».

Le problème posé par l'induction à notre théorie DVQ serait de surcroît immunisé contre la réponse que nous faisions au premier cas empirique, c'est-à-dire le recours à l'imprécision de nos instruments. En effet, le fait que l'imprécision de nos instruments produise des résultats expérimentaux qui ne sont qu'approximativement les mêmes, n'est pas un obstacle à la reproductibilité des expériences.

Si l'on considère comme valide la réduction de ces écarts par une théorie des erreurs, c'est parce qu'on maintient la reproductibilité à l'identique *par principe*.

Nous ne nions pas que cette thèse, épistémologique, de l'essentielle reproductibilité d'une expérience scientifique, capture quelque chose d'important dans la démarche scientifique. En revanche, nous doutons qu'il soit nécessaire à l'induction de se fonder sur une répétition de cas exactement ressemblants. Ce qui est en question, dans cette connexion entre nos discussions ontologiques et le problème de l'induction, c'est la légitimité et le fondement (ou leur absence) de l'induction, c'est-à-dire de la confirmation empirique d'une hypothèse générale : exige-t-elle véritablement la répétition dans l'expérience de cas identiques ? Nous ne pouvons ici que signaler cette connexion, que nous développerons dans le chapitre VII.

Pour l'heure, nous ne pouvons que faire à cette objection la même réponse qu'à la précédente : nier la ressemblance exacte des cas et maintenir DQ. Que les différents résultats expérimentaux soient pris ou non comme fondements d'une induction scientifique, nous maintenons qu'il n'y a pas deux résultats exactement ressemblants, et que l'égalité parfaite n'est jamais pleinement réalisée. Il nous reviendra, ailleurs, d'accommoder la possibilité de l'induction avec cette conséquence. Mais que cette connexion problématique avec l'induction n'apparaisse pas comme une faiblesse de la théorie DVQ, dont, gênés, nous reporterions le traitement. Au contraire, nous saurons montrer, à l'heure d'en parler, que cette théorie des quantités offre au contraire une manière, à la fois puissante et fidèle à la démarche scientifique, de fonder l'induction.

4.3.Qu'est-ce que la différence numérique ?

Dans ce paragraphe, nous allons renverser l'interprétation donnée traditionnelle de la différence numérique comme *distinctio solo numero*, en approfondissant la thèse VQ. Depuis le début de cette section, ce que nous disons peut en effet laisser penser que nous devons, pour maintenir la thèse DQ, écarter la distinction numérique. Or, une juste compréhension de la thèse VQ doit au contraire affirmer qu'il n'y a entre les particuliers qui sont instances de la même propriété *que* des différences quantitatives. Donc, en ce sens, loin de la rejeter, nous disons qu'il n'y a que des distinctions numériques. Ce que nous rejetons précisément, c'est la distinction numérique conçue comme *distinctio* solo *numero*. Ce que l'on désigne, à nouveau, par l'expression « distinction *seulement* numérique », c'est une différence qui, parce qu'elle ne touche pas à la nature des particuliers en présence, mais seulement leur nombre (ils sont plusieurs au lieu d'être un), n'entrave pas leur communauté de nature. Autrement dit, la distinction seulement numérique, c'est la différence qu'on doit concéder à regret, pour accorder une *diversité* de particuliers, en se consolant avec leur identité qualitative. On sacrifie l'identité stricte pour mieux s'assurer l'identité qualitative d'une diversité de cas. Or, chez nous, la différence numérique n'est pas ce *malgré quoi* différents particuliers d'être instances de la même propriété. Elle est au contraire, selon

VQ, le fondement *grâce auquel* ils sont instances de la même propriété ! Nous allons consacrer la majeure partie de cette section à l'explication de cela dans le cas des quantités discrètes. Le cas des continues fera l'objet des chapitres V et VI sur la mesure des grandeurs physiques.

4.3.1. Quantités discrètes et individualité. Typologie des particularités primitives.

Comme la question que nous abordons maintenant a été souvent annoncée et différée, au cours de notre travail, il peut être utile de faire la liste des lieux problématiques, dont nous sommes à chaque fois sortis en renvoyant à plus tard l'examen. Nous y sommes.

En premier lieu, il y a donc la particularité primitive des individus. Elle est en jeu par exemple chez Armstrong, dont les états de choses sont des propriétés instanciées et particularisées par des « particuliers fins », qui possèdent une diversité et distinction préalables. D'un point de vue lexical, c'est cette particularité primitive que le concept d'individu désigne par excellence. Un individu, c'est précisément un particulier qui demeure distinct des autres, même s'il n'a pas de qualités, ou s'il a exactement les mêmes qualités. On appellera dans la suite « individu » un particulier numériquement et discrètement distinct des autres particuliers de la même sorte, c'est-à-dire qui peut compter pour un dans le dénombrement des particuliers d'une même classe. Il faut bien distinguer ce sens de l'individu, qui n'est que numérique, de l'individualité ontologique dont nous parlons dans le chapitre II. Un individu numérique n'est qu'*un* particulier. Un individu ontologique est *ce* particulier et aucun autre, et c'est cette *thisness* que l'on désigne par le concept ontologique d'individualité. Dans l'ontologie des états de choses, la particularité des états de choses vient donc tout droit de l'individualité numérique des particuliers fins qui les sous-tendent. Mais c'est également avec cette catégorie qu'on pourra être tenté de traiter le cas des électrons présenté au-dessus : divers électrons, qui ont des masses et des charges déterminées et exactement similaires, ne sont-ils pas distincts parce qu'ils sont des individus distincts ?

En second lieu, il faudra considérer le cas de la distinction numérique entre tropes qui sont membres d'une classe de ressemblance exacte ; c'était, on s'en souvient, la possibilité d'une « particularité primitive » choisie par Campbell pour rendre compte de la distinction des tropes, et que nous avions rejetée sans justification. Si Campbell avait raison, les divers tropes à la fois auraient une particularité primitive comme des particuliers fins, mais auraient des natures et pourraient être qualifiées comme les états de choses. C'était l'exemple, tout juste présenté, des *quanta* d'énergie. Leur traitement peut-il se ramener au cas précédent des particuliers fins ou individus, ou bien constitue-t-il une difficulté supplémentaire pour la théorie DVQ ?

Nous avons donc deux situations ontologiquement possibles de distinction numérique entre particuliers, dont la distinction ne vient pas d'une différence qualitative, mais se fonde sur une particularité primitive. Ce sont les individus numériques et les tropes primitivement particuliers. Nous devons montrer, pour défendre la thèse DQ face aux cas de particuliers qui ne sont distincts que

numériquement, *qu'il n'y a pas de particularité primitive,* mais que toute particularité vient de la détermination d'une propriété ou d'un type. Pour le faire, nous avons pour l'essentiel deux mouvements à notre disposition : un mouvement d'opposition à la notion de particularité primitive telle que la conçoit notre adversaire – ce sera notre négation de l'individualité ontologique ; et un mouvement de reprise contre lui de sa propre attaque – en montrant ensuite que, bien conçue, la distinction numérique est tout simplement un cas de variation entre déterminations quantitative. Cette réponse consistera à retourner la conception habituellement reçue de la distinction numérique comme *distinctio solo numero*. Nous allons montrer qu'en réalité, non seulement il y a des distinctions numériques entre des particuliers qui sont des individus numériques, mais que ces distinctions sont un cas de variations quantitatives tout à fait prévus dans la thèse VQ : le cas des quantités discrètes.

4.3.2. La négation de l'individualité ontologique.

Dans le chapitre II, nous avons attaqué la présupposition nominaliste (PN) selon laquelle les particuliers sont distincts par des différences d'individualités, en arguant de l'avantage indu qu'elle lui conférait dans la querelle contre le réaliste. Nous l'attaquons maintenant pour elle-même, en niant ce à quoi se ramène ontologiquement l'individualité ainsi conçue, c'est-à-dire à un fondement primitif de la particularité (et par suite, de la distinction). Face à des particuliers qui sont identiques en nature, comme divers électrons par exemple, notre adversaire considère qu'ils sont distincts numériquement bien qu'identiques en nature, parce qu'ils ne sont pas le même individu. La différence numérique suivrait la différence d'individualité. On considère ainsi – et c'est une théorie de l'individualité très reçue – que la *distinctio solo numero* dérive du fait que les différences entre particuliers ne sont que des différences d'individualités. Que pouvons-nous bien opposer à cette théorie ?

Pour commencer, il nous est impossible d'avoir recours à un argument aujourd'hui reçu contre l'existence d'individualités, qui consiste à dire que ce sont les avancées des théories physiques elles-mêmes qui nous incitent à ne plus nous engager envers l'existence de telles entités. En examinant théories physiques, en particulier la mécanique quantique, on montre que leurs énoncés fondamentaux, ainsi que leurs résultats expérimentaux, s'interprètent ontologiquement d'une manière qui peut écarter l'existence d'individualités. Écarter la notion d'individualité permet plus précisément d'éviter la sous-détermination de l'ontologie par la QM (French & Krause, 2006). Pourquoi cet argument nous est-il interdit ? Parce qu'il relève d'une façon de faire de la métaphysique, d'inspiration naturaliste, qui aligne l'ontologie sur ce que les théories physiques nous disent qu'il existe. Or, depuis le début de ce travail, nous faisons de la métaphysique d'une tout autre manière ; nous la concevons comme un examen réflexif sur les conditions de vérité de ces énoncés, qui se mène *a priori*. Ce qu'affirment les thèses DQ et VQ, qu'il existe des déterminations et variations quantitatives, ne se dégage pas de ce qu'affirment des théories physiques empiriquement confirmées, mais se propose comme solutions à un problème posé *a*

priori. Par conséquent, il nous est absolument impossible de prétendre que ce sont les théories physiques elles-mêmes qui nous suggèrent de balayer les individualités, en clamant qu'« *everything must go* » (Ladyman & Ross, 2007). Nous devons considérer l'existence d'individualités comme une possibilité métaphysique.

Or traditionnellement, l'individu est le particularisateur par excellence : c'est en usant de cette catégorie qu'on rend compte de la particularisation d'une propriété dans un état de choses. Mais au-delà de sa fonction analytique, la catégorie d'individu est dotée d'une plausibilité propre. On croit, intuitivement ou à cause peut-être d'une longue tradition, qu'il existe des individus qualitativement identiques, dont la diversité numérique découle de leurs individualités primitives. Nous devons donc produire une batterie d'arguments contre cette catégorie ontologique. Le premier argument est sémantique : il nous semble douteux que le terme « individualité » ait un sens tout à fait défini. Le deuxième argument met en doute la thèse que la différence numérique serait adéquatement fondée sur la différence d'individualités.

4.3.2.1.Argument sémantique contre la notion ontologique d'« individualité ».

Premièrement, il n'est pas évident qu'on sache précisément ce qu'on veut dire par le terme d'individualité. Il faut la distinguer de l'individualité numérique, dont le sens est très clair, et qui est celle de tout particulier qui non seulement existe distinctement (c'est-à-dire qui existe d'une façon distincte des autres particuliers, comme tout particulier) mais aussi compte pour un. Les individus numériques, ce sont les particuliers que l'on peut compter, qui sont le support d'une quantité discrète. En ce sens numérique, l'individualité est donc quelque chose de *générique* : « être un individu », c'est ce que sont tous les individus, et en ce sens leur « individualité » ne désigne rien qu'ils n'aient pas tous en commun puisqu'ils sont tous des individus. Nous reviendrons plus loin à cette notion d'individu numérique, pour nous demander si une différence entre individus en ce sens-là n'est pas, tout simplement, une différence entre déterminations quantitatives.

Nous parlons ici de l'individualité *ontologique*, qui serait cette « identité » ou cette « nature » singulières que possèderait un individu, qui ferait qu'il est le seul à être lui-même, et qu'il n'est pas ces autres individus qui peut-être sont qualitativement identiques. Le terme d'« individualité » ne désigne rien qui soit le même dans chaque individualité. Dès lors, est-ce que le terme même a un sens ? Que veut-on dire, quand on utilise la catégorie ontologique d'« individualité », si en réalité on ne peut pas vouloir dire la même chose pour chaque individualité ? Que veut-on dire, quand on dit que deux particuliers sont différents parce qu'ils sont des « individualités » différentes ? Le moins qu'on puisse dire est que son sens n'est pas clair, et c'est notre premier argument de dire que cela jette un grand trouble sur cette notion d'« individualité » comme singularité.

On utilise parfois pour la désigner, dans la littérature, le terme de *primitive thisness*, qu'on peut traduire par *eccéité primitive*. Ce terme renvoie au moyen que nous avons pour désigner et identifier une individualité : si la description définie n'est pas suffisante pour l'identifier, parce que cette individualité A possède exactement les mêmes qualités que B, alors on ne peut plus désigner isolément A que par un acte de référence démonstratif : « *Voici* A », « A est *cet* individu ». L'individualité d'un individu serait cette « ceci-ité » qu'on nomme par le terme latin « eccéité ». Bien sûr, ce qu'est ontologiquement l'individualité n'est pas réductible à notre moyen épistémique et indexical de la désigner. Mais c'est bien de cet usage des déictiques pour désigner l'individualité primitive que vient le terme *thisness*.

Or, pour savoir si la catégorie d'individualité a un sens, cette importation des déictiques est à la fois juste et trompeuse. Il est juste de rapprocher le terme d'individualité des déictiques, parce que comme eux « l'individualité » désignerait quelque chose de différent dans tout *x* sur quoi il s'appliquerait. « Individualité » et « ceci » ont la même structure de référence : ce qu'on désigne par « ceci » est à chaque fois différent, et il n'y a rien de commun entre tous ; exactement comme les diverses individualités sont toutes différentes les unes des autres, car « individualité » ne peut pas avoir la même signification pour l'individualité de A que pour celle de B. Mais c'est pourquoi le rapprochement avec les déictiques est aussi trompeur : les termes comme « ici », « maintenant », « ceci », sont utilisés nécessairement en contexte, et deux objets qu'on désigne par « ceci » sont identiques ou différentes selon le contexte. La fixation de la référence des termes déictiques se fait en contexte. Or c'est précisément ce qui n'est pas possible avec la catégorie d'individualité utilisée analytiquement : nous examinons un problème ontologique *a priori*, et ne sommes pas dans un contexte qui viendrait donner une signification précise au terme. Le parallèle avec les déictiques nous donne l'impression trompeuse de savoir ce que nous disons par « l'individualité de A », « l'individualité de B », etc.

Pourtant c'est ce qu'affirme (Adams, 1979), défenseur des haeccéités, pour qui les individus ont des natures absolument singulières, qui sont des propriétés ou déterminations non-qualitatives. Une haeccéité ne peut être exprimée que par référence à l'individu à laquelle elle est attachée. L'haeccéité de Platon, c'est sa propriété d'être identique à *cet homme-là Platon*. Cette propriété est non-qualitative et non-relationnelle, primitive et inanalysable. Elle est censée, pour Adams, rendre compte du fait qu'un individu est le même individu, même s'il change toutes ses propriétés qualitatives, et du fait que deux individus parfaitement indiscernables sont néanmoins deux.

On lui a reproché, dans la littérature, de renverser l'ordre de fondation ontologique qui nous semble le plus naturel : ce n'est pas parce que Platon a la propriété d'être identique à Platon, qui est distincte de la propriété d'être identique à Socrate, que Platon est numériquement distinct de Socrate, mais c'est l'inverse. Autrement dit, deux individus ont des haeccéités distinctes parce qu'ils sont deux individus distincts, et non l'inverse (Drapeau Vieira Contim, 2008). Un autre reproche a été adressé : si c'est l'haeccéité en quoi consiste l'individualité d'un individu, et qui fonde donc son identité individuelle, alors on ne voit pas comment cette théorie peut rendre compte de l'identité des *possibilia*.

On peut désigner un individu possible par une description définie, qui identifie correctement cet individu, bien qu'il ne soit pas actuel : par exemple, le boson qui apparaitrait si on percutait telle particule à telle énergie. Mais comme cet individu n'existe pas actuellement, il est impossible de spécifier son haeccéité.

On peut alors généraliser cet argument : l'haeccéité est une propriété qui ne peut se spécifier qu'en contexte actuel, puisqu'elle n'est pas la propriété d'« être identique à soi » en général, que tous les individus partagent, mais elle est une propriété différente pour chaque individualité. On peut alors douter vraiment qu'elle soit susceptible d'un usage ontologique primitif. Ce qu'on peut désigner, ce sont des individus actuels, présents dans le contexte de notre expérience, et que l'on peut labelliser ou étiqueter par des noms propres. Mais hors de tout contexte, il n'y a probablement aucun sens à *désigner* l'individualité primitive d'un individu.

4.3.2.2.Doutes sur ce que la notion de différence d'individualité permettrait réellement de fonder.

Deuxièmement, ce qu'on appelle ici « différence d'individualités » n'est peut-être pas quelque chose que l'on peut appeler *une différence*, ou en tout cas rien qui puisse être en mesure de fonder une différence d'existences particulières. Rien n'empêche en effet un même existant particulier, qui est un individu numérique, d'être plusieurs individualités à la fois.

Comparons en effet avec la différence qualitative, qui est parfaitement à même de fonder la différence numérique. Deux particuliers qui diffèrent qualitativement son évidemment deux : pourquoi ? Une différence qualitative implique une différence numérique en vertu du principe de contradiction. En effet, s'il y a une différence qualitative entre A et B, c'est qu'il y a une qualité que l'un possède et que l'autre ne possède pas. S'il est vrai de dire de A qu'il est P, mais qu'il est faux de le dire de B, alors B n'est pas le même individu que A, puisque si B était le même individu que A, alors tout ce qui est vrai de A est aussi vrai de B, donc on aurait qu'il est en même temps vrai et faux que B soit P. A et B doivent être numériquement différents s'il y a une différence qualitative entre eux.

Maintenant, est-on certain qu'une différence d'individualités sans différence qualitative implique une différence numérique, c'est-à-dire une différence d'existants ? Pourquoi un même étant ne peut-il pas avoir plusieurs individualités ? Le principe de contradiction ne s'applique pas à la différence d'individualités, parce qu'il n'y a pas de *contrariété* entre les individualités. La différence d'individualités n'est pas si opérante que l'on pense pour fonder la différence numérique entre étants particuliers, parce que rien n'empêche *a priori* un même étant d'être deux individualités, ou plus. Une individualité A est individuée par la propriété d'être identique à A. En quoi, alors, un particulier qui possède cette individualité A serait-il numériquement distinct d'un particulier qui est l'individualité B différente ? En vertu de quel principe de contrariété ou d'exclusion entre « être identique à A » et « être identique à B » un même étant ne pourrait-il pas être identique à A et à B ? Rien n'exclut qu'un même

étant soit à la fois l'une et l'autre, sauf à présupposer ce qu'il faut démontrer, à savoir qu'une différence d'individualités implique une différence numérique réelle.

Dans la métaphysique de l'âge classique, on répondrait que ce sont les déterminations qui sont liées non pas à *l'essence spécifique* d'un individu, essence qui peut être partagée avec d'autres individus de la même espèce, mais à son *existence*. Leibniz pensait par exemple que dans la notion complète d'un individu, en plus des déterminations essentielles qui sont génériques, il entrait des déterminations – en nombre infini – qui singularisent la nature d'un l'individu. Précisons que pour Leibniz, ces déterminations individualisantes sont tout aussi essentielles que les génériques, puisque sans elle l'individu ne serait pas l'individu qu'il est. A quoi correspondent-elles ?

Ces déterminations sont ce qui, dans ce qu'est cet individu, rend vrais tous les énoncés qui disent tout ce qui lui arrive au cours de son existence. Dans une telle ontologie de l'individualité, ces déterminations d'existence sont des qualités qui sont aussi nécessairement impartageables, puisqu'elles expriment des choses qui ne peuvent arriver qu'une fois, à un seul individu. Il existerait donc des qualités non-répétables, impartageables, que nous nommerons des « qualités individualisantes ». Par exemple, la qualité d'être assis sur cette chaise le 20 septembre 2018 à 10h23 et 32 secondes, n'est-elle pas, par principe, impartageable ? Rien n'est moins sûr. Pourquoi ne serait-elle pas partagée par deux individualités ? Pour qu'elle ne le soit pas, il faut présupposer que deux individualités doivent nécessairement présenter des déterminations différentes d'espace-temps, et quelque chose comme un principe d'impénétrabilité entre individualités. Or c'est présupposer précisément ce qu'il faut démontrer, à savoir que la différence d'individualités fonde la distinction numérique des étants.

Nous mettons par conséquent définitivement de côté l'individualité ontologique, qui ne nous semble pas une catégorie susceptible d'un usage analytique hors contexte. A partir de maintenant, nous désignons par « individus » des particuliers qui sont numériquement distincts et comptent pour plusieurs, formant une variété discrète. Montrons alors que cette sorte de diversité, loin de contredire la théorie DVQ, est un cas spécifique de déterminations et variations quantitatives.

4.3.3. Le lien entre type d'états de choses et nombres chez Armstrong.

Avant d'en venir à la façon dont la théorie DVQ rend compte de la diversité discrète, il faut signaler qu'Armstrong repère parfaitement le lien entre ses types d'états de choses et la distinction numérique de leurs instances, pour distinguer notre approche de la sienne. Au moment où il présente sa notion de « types d'états de choses » qu'il appelle aussi « universaux de particularisation », il signale une connexion singulière entre ces types d'états de choses et les quantités discrètes :

> Le prédicat « homme » est un prédicat qui, d'après les mots de Quine, « divise sa référence » en hommes individuels (l'universel associé peut être dit diviser ses particuliers) […]. Les universaux de

> particularisation ont un lien spécial avec le nombre. Si « être un homme » est réellement un universel monadique (ce qui est en fait une hypothèse peu plausible), alors il en va de même pour « être (un agrégat de) deux hommes », « être (un agrégat de) trois hommes », et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on épuise le nombre d'hommes qui existent en tout temps. Clairement, l'analyse de tous ces universaux implique la notion d'un nombre de différents tokens du même type. (Armstrong, 1978a, p. 116)

Rappelons le rôle que jouent chez Armstrong les universaux de particularisation. Il permet de faire la différence entre un rire, qui est humain, et *un* homme, qui est humain mais aussi token du type « être une instance particulière de l'humain », c'est-à-dire « être *un* homme ». Pour reprendre le symbolisme utilisé dans le chapitre I, avec la propriété F « être humain », un homme individuel non seulement est F » mais « est une instance particulière de F » c'est-à-dire, est un token du type IF « être instance particulière de F ». C'est ici que se joue la connexion entre le type d'état de choses et la distinction numérique des instances. On compte les hommes comme instances numériquement distinctes de l'humain, alors qu'on ne compte pas les rires ainsi.

Comme nous le verrons dans le chapitre V, Armstrong, avec Forrest, a exploité cette connexion entre types d'états de choses et nombres. Ici, nous voulons souligner qu'Armstrong exploite ce lien entre type d'états de choses et distinction numérique de ses tokens, sans vraiment l'expliquer. On a l'impression que c'est par accident, ou du moins par chance, qu'il y a cette connexion, puisqu'un universel de particularisation a pour instances des particuliers qui sont particularisés par eux-mêmes, primitivement, et non en tant qu'instances de cet universel de « particularisation ».

On le voit à ce qu'Armstrong ne dit pas en quoi un universel est spécifiquement « de particularisation ». Chez lui, tous les électrons individuels sont des instances qualitativement identiques du type « être un électron », c'est-à-dire sont tous « un électron » de la même manière. Ils ne sont donc pas distincts en tant qu'instances de l'universel de particularisation, mais en vertu d'une particularité préalable, celles du particulier fin qui instancie l'universel. Mais dans ce cas, nous pouvons répéter notre question directrice : si a, b, c, sont *qualitativement* indiscernables car tous « un électron », pourquoi sont-ils numériquement distincts, en l'occurrence, trois ? En un mot, s'ils sont tous les trois « un électron », pourquoi ne sont-ils pas un électron ? Si « être un électron » est une propriété et non l'instanciation distincte d'un type d'état de fait, alors on ne peut plus fonder la distinction numérique des instances de « être un électron », sauf à postuler leur individualités ontologiques préalable (a est *cet* électron, b *cet* autre électron, c *ce* troisième électron individuellement différent, etc.), et à retourner à l'hypothèse nominaliste tout juste écartée.

D'après notre position, c'est par leurs façons quantitativement différentes d'en être instances, que toutes les instances du type sont distinctes les unes des autres. Pour nous, ces électrons instancient différemment « être un électron » parce qu'ils ne sont *pas* tous *un* électron, mais *différents* électrons. Armstrong ne pousse pas assez loin la distinction entre les types d'états de choses et les propriétés

conçues classiquement, c'est-à-dire comme des qualités constituant la nature des particuliers, qu'ils partagent. En tant que tel, son universel de particularisation « être un électron » n'est pas assez « particularisant », puisque toutes ses instances sont toutes qualitativement identiques comme étant « un électron ». Chez lui, « être un électron » n'est pas fondamentalement différent de la qualité « avoir l'électronicité », si l'on peut s'exprimer ainsi. Or un type (d'états de faits) est tel que ses instances sont distinctes en tant qu'instances différentes du même type : donc le type n'est pas « être un électron », mais « être un électron distinct des autres ».

Les électrons sont *numériquement* différents, c'est-à-dire non pas *un* mais *plusieurs* : la différence numérique est un cas de différence entre déterminations quantitatives. Autrement dit, les électrons ne sont pas du tout, tous et identiquement, « un électron », mais ils *sont* tous « un parmi plusieurs électrons ». La différence numérique est tout simplement le mode de distinction entre instanciations d'un type discret, qui est bien une variation quantitative, parce ce qui fait qu'un électron particulier est numériquement distinct des autres, c'est qu'il est une détermination du type : « être un électron numériquement distinct ». La distinction numérique est un mode de distinction et de particularisation qui a toute sa place dans la théorie DVQ, puisqu'il est un mode de variations quantitatives. Nous allons expliquer qu'il est le mode de particularisation propre aux types quantitatifs discrets, comme sont les espèces naturelles ou sortes (comme les électrons, les protons, etc.).

4.3.4. La distinction numérique est la variation quantitative propre aux types sortaux.

La théorie DVQ affirme que les diverses instances d'un même type sont *particulières*, parce qu'elles diffèrent « quantitativement » en tant qu'instances du *même type*. Elle nous permet de fonder la distinction numérique des particuliers d'une même sorte en refusant d'y voir une diversité externe, mais en y voyant un fait ontologique d'instanciation. C'est parce qu'ils sont des instances du type d'états de faits « être des instances numériquement distinctes de F » qu'ils sont numériquement distincts. Nous proposons de considérer la diversité *numérique* comme la forme que prend l'instanciation multiple d'une même propriété quand il s'agit d'un type discret ou sortal.

Nous appelons ici « type sortal » une propriété rare, qui est une espèce naturelle désignée par un concept sortal, comme « être un proton » ou « être un électron ». La distinction numérique est la différence quantitative qui est propre aux types qui sont ces sortes ou espèces naturelles. Elle est leur mode de particularisation. Ce qu'affirme donc la théorie DVQ d'une diversité de particuliers qui sont tokens d'un même type sortal, c'est une position sur ce qu'ils sont : ils *sont* des instances numériquement distinctes du même type. La différence numérique constitue leur *être* d'instances du même type. Par conséquent, le type dont ils sont les tokens variés doit se dire « être une instance numériquement distincte de F » (avec F l'électronicité).

Maintenant, nous devons analyser plus précisément ce que c'est que *d'être* (un électron) numériquement distinct. Si on applique les deux thèses de la théorie DVQ, on obtient que divers électrons sont distincts parce qu'ils sont, et ne sont que, des *déterminations* différentes du type « être un électron numériquement distinct ». Nous devons donc expliquer en quoi des électrons numériquement distincts sont des *déterminations* différentes du type, et en quoi la distinction numérique est une situation spéciale de variations quantitatives.

4.3.4.1.La distinction numérique comme variation quantitative.

Il est plus simple de commencer par la thèse VQ. La distinction numérique est un cas spécifique de variation quantitative, parce que des électrons particuliers ne sont pas distincts numériquement en vertu d'autre chose de leur être instances du même type.

En premier lieu, il apparaît que cette thèse n'est que la traduction ontologique de faits sémantiques bien connus concernant les concepts sortaux. Un concept est sortal lorsque, pour en maîtriser la signification, on doit avoir en même temps un moyen de distinguer individuellement les cas particulier qui tombent sous lui (Wiggins, 2001) (Ludwig, 2008). L'application d'un concept sortal « découpe » individuellement ses références, alors que ce n'est pas le cas pour des concepts simplement « caractérisants » (pour reprendre la distinction entre « caractérisant » et « sortal » due à (Strawson, 1971, p. 189). « Être humain » caractérise simplement les particuliers auxquels on l'applique, comme ce rire ou cette personne ; et la distinction numérique de ces particuliers est supposée préalable, leur diversité est externe. « Être *un* humain » en revanche est sortal, parce qu'en sachant l'appliquer, on dispose d'une règle pour individuer les particuliers qui sont *des* êtres humains. La diversité des instances d'un concept sortal est interne, car c'est en tant qu'instances du concept sortal qu'elles sont numériquement distinctes.

On peut alors se demander quelles sont les conditions ontologiques de la possibilité de l'application de tels concepts sortaux. Que doivent être les particuliers, et que doit être leur particularité, pour pouvoir entrer dans l'extension d'un concept sortal, et pour que l'application de ce concept soit ontologiquement fondée ? Il apparaît clairement qu'ils doivent être des individus numériques, c'est-à-dire des particuliers numériquement distincts ; mais ils doivent surtout être des individus qui ne sont distincts qu'en tant qu'instances différentes d'un même type sortal (désigné par le concept sortal). Deux particuliers A et B sont des êtres humains distincts dans la classe des instances de « être un humain » non pas parce qu'ils auraient par ailleurs une différence qualitative, ou parce qu'ils seraient situés en différents lieux de l'espace, ni pour aucune autre distinction externe ; ils sont distincts parce qu'ils sont *deux* êtres humains, c'est-à-dire seulement en tant qu'instances différentes de « être un être humain distinct ». Sinon, le concept qu'on leur applique ne serait pas sortal, mais seulement caractérisant : il

caractériserait la nature ou une qualité des particuliers auxquels on l'applique, en présupposant une distinction numérique externe et préalable entre eux.

Donc il faut qu'être numériquement distincts ne soit rien d'autre que la façon qu'ont des particuliers d'être instances du même type sortal, pour que le concept qui désigne ce type et que nous appliquons à ces individus, soit un concept authentiquement sortal. La distinction entre individus numérique doit être un cas de variation quantitative (i.e. de distinction entre particuliers seulement en tant qu'instances différentes du même type) pour que l'application de concepts sortaux soit légitime. Mais précisément, en quoi être numériquement distincts revient à être des *déterminations* différentes du même type (sortal) ?

4.3.4.2.« Être numériquement distinct » comme détermination quantitative.

Maintenant, nous devons expliquer en quoi la distinction numérique est un cas spécifique des déterminations quantitatives en général. D'après la thèse DQ, des électrons sont divers parce qu'ils sont différentes détermination du même type. Mais en quoi des électrons numériquement distincts sont-ils des *déterminations différentes*, et de quel type précisément ?

Soient p_1, …p_i un nombre *i* d'électrons, qui sont tous tokens du même type. Nous disons que chaque instance du type est une *détermination numériquement différente* de ce type. Cela signifie *premièrement* que le type est mal désigné par « être un électron », mais devrait être formulé à l'aide d'un symbole de nombre indéterminé « *n* », qui désigne un nombre entier naturel d'électrons. Le type est « être *n*-instances d'électron ». Cela signifie, deuxièmement, que chaque instanciation du type est une détermination *numériquement* différente de toute autre instanciation du même type. Par exemple, l'électron p_j *j*-instancie le type électron en déterminant $n = j$. Il suffit alors d'expliquer en quoi « *j*-instancier » le type « être *n*-instance de électron » fonde la distinction numérique entre cette instance du type et toutes les autres.

Rejet de l'explication ordinale.

Nous allons commencer par envisager une première explication, avant de l'écarter en faveur d'une seconde. Cette première possibilité consiste à donner une interprétation *ordinale* de la détermination numérique $n = j$. Elle propose de distinguer numériquement les particuliers p_i en leur prêtant des propriétés numériques *ordinales*. D'après cette position, le type doit être formulé : « être un *n*-ième électron », et en concevant toute instance de ce type comme une détermination de l'ordinal « *n*-ième », alors tout électron p_j est particulier et distinct des autres tokens du même type en tant que détermination de ce « *n*-ième » en « *j*-ième ». L'électron p_j est le *j*-ième électron, et est distinct des autres en vertu du fait qu'il est une détermination différente du type « être n-ième électron » (avec *n* indéterminé), c'est-à-dire du fait qu'il est une place dans une structure de progression : < un 1er électron,

un 2ème électron, …un *i*-ième électron >. On aurait bien, pour tout *j*, chaque particulier qui est distinct des autres parce qu'il est une détermination distincte du type.

Mais le premier problème serait alors que, compris comme des déterminations de *ce que sont* les p_i, les déterminations ordinales les rendraient parfaitement discernables par la place qu'ils occuperaient (et qu'ils seraient) dans l'ordre numérique 1, *…i.* Dans ce cas, l'électron p_j serait distinct des autres par sa qualité de *j*-ième, et les différences numériques entre instances seraient alors conçues comme des différences qualitatives. Chaque électron instancierait une propriété ordinale déterminée distincte des propriétés ordinales instanciées par les autres électrons. Or nous devons maintenir que les électrons sont qualitativement indiscernables comme instances du *même* type déterminable, et donc leurs différences numériques doivent rester non-qualitatives. Pour l'électron p_j, « *j*-instancier » le type n'est pas une détermination de sa nature, mais de son existence particulière comme token de ce type. Il est une occurrence existante distincte des autres parce qu'il *j*-instancie le même type, c'est-à-dire l'instancie comme façon particulière. Or il est à craindre, si l'on conçoit la distinction numérique comme une détermination ordinale, de retourner à une solution de différence qualitative.

Nous avons une seconde raison de refuser cette solution ordinale. Les électrons individuels peuvent, en vertu de leur distinction numérique, être comptés et donc étiquetés comme « le premier », « le deuxième », etc. Mais cette possibilité épistémique et expérimentale de mesurer la taille d'un échantillon d'électrons aussi grand qu'on pourra présuppose, comme sa condition ontologique, la distinction numérique des électrons. En effet, dans une situation où l'on compte ainsi les électrons individuels, « premier », deuxième », « troisième » sont des étiquettes qui ne fonctionnent comme des noms propres que dans ce contexte, où des règles opérationnelles établissent leur référence précise. « a » renvoi à *ce* électron et non à *cet* autre, parce qu'il est par exemple « le premier électron détecté par le système physique S comme résultat de l'opération O, à l'instant t ». « b » désigne par exemple le second électron, parce qu'il est détecté à l'instant t' ultérieur à t, etc. Mais « le premier » ne fait pas référence à une qualité de primauté du premier électron hors de ce contexte opérationnel. Ce n'est donc qu'en contexte expérimental que ces trois électrons sont comptés comme des unités successives.

En contexte, c'est donc la diversité numérique des électrons qui est présupposée, pour qu'on puisse les désigner individuellement par ces étiquettes ; mais ce n'est pas, à l'inverse, leurs différences ordinales qui fonderaient leur distinction numérique. La distinction numérique que nous cherchons à fonder ontologiquement par la thèse DQ est ce qui rend possible d'ordonner ces particuliers dans une structure de progression ordinale. Mais cette structure est construite par l'opération de comptage. Il suffirait de compter les électrons dans un ordre différent pour qu'une autre structure ordinale soit construite à partir du même ensemble de électrons numériquement distincts. Leur distinction numérique est donc ce qui rend possible, ontologiquement, qu'ils entrent ainsi dans toutes les structures de progression arbitraires, qui varient selon les circonstances opérationnelles du décompte.

Détermination relationnelle du cardinal, première version.

Nous nous tournons maintenant vers la seconde solution que nous voyons. Nous pensons qu'*être* numériquement distinct, est pour un particulier, une détermination *relationnelle*. Comme c'est seulement comme instance du même type que les autres qu'un électron est numériquement distinct, la distinction numérique n'est pas une caractéristique intrinsèque, mais relationnelle, du particulier. Pour l'expliquer, nous nous inspirons de la notion, élaborée par (Quine, 1976), de « discernabilité faible » selon laquelle deux objets sont faiblement discernables si et seulement s'ils sont dans une relation non réflexive l'un envers l'autre[55]. On peut alors essayer de concevoir une distinction numérique qui est ontologiquement fondée sur le fait relationnel que les particuliers *sont* dans cette relation.

Pour cela, nous allons proposer une relation primitive *r* : « être un de plus que ». *r* est non-réflexive, parce qu'aucun particulier n'est un de plus que lui-même. *r* est symétrique, puisque si $r(p_j,p_k)$ alors $r(p_k,p_j)$. Par conséquent, *r* n'est pas transitive. De cette façon, *r* ne pourra pas ordonner les particuliers qu'elle relie, ni non plus les différencier qualitativement par leur place dans une structure d'ordre. En revanche, nous devrons expliquer comment la structure relationnelle qu'elle forme entre les particuliers permet de construire des relations d'ordres artificielles, par des opérations expérimentales de comptage. Pour cela, nous proposons que :

DQTS1 (DQ pour les Types Sortaux) : le particulier p_j *« j-instancie » le type « être n-instance de F » si et seulement si* $r(p_j, p_k)$ *pour tout* $k \in [1, i] \setminus j$.

DQTS1 est une première version de notre proposition d'application de la thèse DQ aux types sortaux, que nous raffinerons ensuite. Cette première proposition décrit chaque p_j comme étant distinct des autres comme détermination du type. DQTS1 signifie que chaque p_j est, comme particulier, distinct numériquement des tous les autres p_k parce qu'il est un cas qui s'ajoute à l'ensemble non-ordonné des p_k. Autrement dit, être distinct numériquement n'est pas conçu, ici, comme une caractéristique intrinsèque des particuliers individuels, qui seraient « uns » par d'autres biais que leur être tokens du type, mais comme une caractéristique relationnelle. C'est par ses *i – 1* relations aux *i – 1* autres électrons qu'un p_j est numériquement distinct d'eux.

Il faut bien sûr s'expliquer sur la relation *r*. Elle n'est pas un universel, mais désigne seulement les faits ontologiques particuliers en quoi consiste d'être numériquement distinct. Dans l'énoncé DQTS1, les relations « est un de plus que » ne désignent donc pas des instances d'un universel, mais des tropes relationnels. Nous ne faisons que dire en quoi consiste le fait particulier « être (un proton) particulier numériquement distinct », qui n'est pas un fait monadique relationnel. Par conséquent, dire

[55] Très récemment, ce critère de discernabilité faible a été remis au goût du jour par (Saunders, 2003) et (Saunders, 2006), qui fonde sur lui la distinction numérique de certaines particules élémentaires en mécanique quantique (les fermions).

que p_j est dans ces relations avec tous les p_k, c'est dire que son individualité numérique ne consiste qu'en un faisceau de relations avec des particuliers déterminés.

Nous proposons donc de concevoir la distinction numérique comme fondée sur des faits relationnels de détermination – on verra, au chapitre V, que cette thèse paraîtra plus naturelle avec la distinction des particuliers qui instancient des grandeurs *continues*. Mais concernant les propriétés sortales, comme « être un électron », elle implique en particulier que s'il n'existe qu'un électron dans l'univers, alors il ne peut pas être numériquement distinct puisqu'il n'est la relation « est un de plus » avec aucun autre. Cela peut paraître inacceptable, dans la mesure où on imagine très bien la possibilité d'un univers où il n'existe qu'une seule particule, par exemple un seul électron. En mettant de côté les éventuelles raisons physiques qui pourraient empêcher qu'une telle situation soit physiquement possible, on l'admet plutôt intuitivement. Or dans une approche relationnelle de la distinction numérique, un particulier ne peut pas être dit « individuel » au sens numérique s'il est seul, tout simplement parce qu'il n'est alors pas un particulier. Si l'on se souvient de la lettre de la thèse DQ, la particularité d'un particulier ne lui vient ni d'une individualité ontologique primitive, ni d'une localisation spatio-temporelle déterminée, mais du fait qu'il est une détermination différente d'autres d'une même propriété générique. En particulier, dans la situation qu'on imagine, la particule particulière et seule dans l'univers est généralement conçue comme particulière en raison de ses coordonnées limitées d'espace-temps. C'est précisément le mode de particularisation que nie DQ. Par conséquent, un particulier qui n'est distinct d'aucun autre n'est pas même une instanciation particulière de cette propriété ou de ce type. Il sort du même coup de l'orbe de notre ontologie.

Détermination relationnelle du cardinal, seconde version.

En quoi, maintenant, p_j est-il alors distinct des autres p_k en tant que *détermination* différente du type « être *n*-instance de F » ? Il faut concevoir l'être distinct de p_j comme une détermination numérique du type où « *n* » fait figure de nombre naturel indéterminé. Mais en même temps, nous refusons de concevoir p_j comme une détermination ordinale du type (« le *j*-ième électron »), car cela rendrait les différents électrons qualitativement discernables entre eux. Au contraire, p_j est bien indiscernable qualitativement de tous les autres p_k, dans la mesure où comme eux il n'est qu'un faisceau de relations *r* avec tous les autres. Tous les p_i, y compris p_j, ne sont que cela : être un électron de plus que chacun de tous les autres.

Or, p_j est un faisceau d'exactement $i - 1$ relations *r* avec les $i - 1$ autres p_k. C'est là que nous trouvons la détermination numérique de *n* en $n = i$: le fait que tout p_j soit un faisceau de $i - 1$ relations *r* avec tous les autres p_k fonde le fait que les p_i sont *i* électrons et non un seul, c'est-à-dire fonde leur distinction numérique. De cette façon, on conçoit en quoi notre analyse relationnelle de l'« être numériquement distinct » d'un électron particulier en fait aussi une détermination numérique du type : être un électron distinct, c'est être un de plus que *i* autres électrons, avec *i* le nombre parfaitement

déterminé des électrons. Pour plus de clarté, on peut remplacer maintenant le faisceau de relations *r* binaires par une relation *i*-adique r_i telle que $r(p_j, p_k)$ *pour tout* $k \in [1, i] \setminus j$ si et seulement si $r_i(p_j, \{p_k\}^{k\in[1,i]\setminus j})$. On peut alors donner une deuxième version de la proposition :

DQTS2 : p_j *« j-instancie » le type « être n-instance de F » si et seulement si* $r_i(p_j, \{p_k\}^{k\in[1,i]\setminus j})$.

Autrement dit, on peut très bien décrire les relations entre les p_i comme formant une structure : $\langle p_i | r_i(p_j, \{p_k\}^{k\in[1,i]\setminus j})\rangle$ où chacun des p_j est en relation r_i avec les $i - 1$ autres. Cette structure est telle que tout p_j *est* le fait relationnel *i*-adique particulier $r_i(p_j, \{p_k\}^{k\in[1,i]\setminus j})$. Ce n'est pas une structure où des particuliers sont d'abord donnés comme numériquement distincts, avant d'entrer dans la structure de relations. C'est une structure où les p_j sont *constitués*, dans ce qu'ils sont comme particuliers, par leurs relations avec tous les autres p_k. C'est en ce sens que nous proposons une théorie relationnelle de la diversité numérique. Mais également, l'être relationnel de tout p_j est bien une détermination numérique du type, parce que tout p_j est distinct par sa relation à un *nombre déterminé* $n = i - 1$ d'autres p_k. Pour le dire en langage plus intuitif, son « être numérique distinct » est analysé ontologiquement comme le fait d'être *un parmi un nombre déterminé d'autres*. Nous fondons le fait que chaque particulier est un sur le fait que tous, ensemble, ils sont *i* et non tout autre nombre *n* quelconque.

Pour mieux défendre la théorie DVQ dans le cas des propriétés sortales, nous lui attribuons deux avantages ontologiques. Le premier a trait à l'analyse des agrégats, le second au fondement de la mesure des grandeurs discrètes.

4.3.5. Deux avantages de DQTS.

Nous disions que les divers électrons particuliers sont des cas particuliers du type « être un électron ». Mais qu'en est-il alors des agrégats, par exemple de deux électrons ? Quel sens ontologique faut-il donner à l'énoncé : « a et b sont deux électrons » ? Devons-nous admettre que l'agrégat formé par a et b instancie un nouveau type, « être un agrégat de deux électrons », type distinct du premier « être un électron » ? C'est ce que semble penser Armstrong :

> Considérons la propriété structurale « être (précisément) deux électrons », que possèdent toutes les collections d'électrons à deux membres. Nous ne pouvons pas dire que cette propriété implique le même universel, « être un électron », qui serait pris deux fois, parce qu'un universel est un et non plusieurs. Nous ne pouvons que dire que l'universel plus complexe implique la notion de deux particuliers d'une certaine sorte, deux instances du même état de choses universel (*universal state of affairs*). […] « Être (exactement) deux électrons » n'est pas simplement une propriété structurale, c'est une propriété

> particularisante. C'est même un universel *fortement* particularisant (*a* strongly *particularizing universal*). (Armstrong, 1978b, p. 68)

Pour Armstrong, « être un agrégat de deux électrons » est un nouveau type d'états de choses. Il a défini un type d'états de choses comme un universel de particularisation, qui « découpe » ses instances en particuliers numériquement distincts. Un agrégat est ce qui instancie le type « être un agrégat de deux électrons », et est distinct numériquement des autres duplets d'électrons. Qui plus est, Armstrong dit que le type est *fortement* particularisant, ce qui signifie que ses tokens ne se chevauchent pas et ne partagent aucune partie. Or cela pose un premier problème, car on voudrait que des agrégats de deux électrons puissent se chevaucher. Prenez trois électrons : il est clair qu'on peut compter trois duplets d'électrons, qui se chevauchent puisqu'elles partagent toutes deux à deux un électron.

Mais ce problème n'est pas fatal, puisqu'Armstrong peut fixer des relations bien déterminées entre les différents types d'agrégats. Par exemple, il peut dire que les types « être un électron » et « être un agrégat de deux électrons » sont tels que, pour si on a deux instances qui instancient « être un agrégat de deux électrons », alors on a nécessairement 4 instances du type « être un électron ». Par de telles relations entre les universaux de particularisation, Armstrong contraindrait les types d'états de choses à découper leurs instances en particuliers numériquement distincts. L'ennui, alors, vient de ce que ces relations ont l'air parfaitement *ad hoc*, ajoutées par surcroît pour éviter le problème.

Ensuite, un autre problème est posé par le fait que « être un électron » et « être un agrégat de deux électrons » sont deux *propriétés* distinctes. Il y a un certain nombre d'énoncés théoriques qui sont vrais des électrons, et qui sont vrais d'un seul électron comme de plusieurs électrons. Par exemple, les électrons sont des particules élémentaires de charge négative. Cela vaut d'un électron, mais reste vrai quand les électrons sont plusieurs. Dans le cadre d'Armstrong, il faudrait interpréter cet énoncé comme portant non seulement sur la propriété « être un électron », et donc applicable à tout électron individuel, mais comme portant aussi sur tous les types d'agrégats d'électrons : « être un agrégat de deux électrons », « être un agrégat de trois électrons », etc., ce qui n'est pas très satisfaisant.

Passons au second problème, avant de montrer en quoi notre proposition ontologique permet de les résoudre ensemble. Soient i électrons dans une situation, que nous cherchons à dénombrer par une opération expérimentale O bien définie, qui permet d'isoler les électrons l'un après l'autre, successivement. L'application de cette opération permet d'étiqueter un électron comme étant « un premier électron », puis un autre comme « un deuxième électron », etc., jusqu'à ce que l'opération s'achève au i-ième et dernier électron. Nous avons alors compté i électrons précisément. Pourtant, comme nous l'expliquions, aucun de ces i électrons n'est par lui-même le « j-ième », car cette place dans l'ordre du compte est arbitraire et accidentelle. La même opération O, dans des circonstances très proches, aurait pu tracer un chemin de comptage très différent parmi les (i !) ordres possibles. L'ordre effectif n'a donc pas de signification ontologique réelle, au sens où un électron n'occupe pas une place

déterminée dans la structure de progression établie par l'opération O en vertu seulement de ce qu'il est, mais seulement en vertu de O. En revanche, ce que sont les *i* électrons, à savoir des électrons distincts, doit être le fondement ontologique de la possibilité de construire cette structure de progression en comptant les électrons. Leur dénombrabilité doit être fondée ontologiquement.

Pour cela, il faut que tout électron individuel p_j puisse être compté comme le premier, ou bien le second, ou bien le troisième, …, ou bien le *i*-ième. Ce qui peut très bien être exprimé dans le cadre décrit au-dessus. p_j est dans la relation *i*-adique r_i avec tous les autres p_k, avec *k* allant de 1 à *i* et *k* différent de *j*, c'est-à-dire $r_i(p_j, \{p_k\}^{k\in[1,i]\setminus j})$ signifie que p_j est un de plus que les *i – 1* autres, ou qu'ensemble ils sont *i*. Si $r_i(p_j, \{p_k\}^{k\in[1,i]\setminus j})$, alors p_j peut être compté comme le *i*-ième électron. Il suffit de généraliser cela à toutes les *i – 1* autres places que p_j peut occuper. Ainsi, on peut dire que p_j se trouve dans des relations « être un de plus que » avec *i – 2* autres électrons. Comme il y a *i – 1* façons de faire des parties de *i – 2* électrons parmi les *i – 1* électrons restant, p_j se trouve dans *i – 1* relations (*i – 1*)-adiques différentes avec *i – 2* électrons. Et de façon générale, tout p_j se trouve dans $\binom{i}{k}$ relations *k*-adiques différentes avec *k* électrons parmi les *i*. Au bout de la généralisation, on a *k = 2*, où l'on retrouve les faits relationnels élémentaires selon lesquels p_j « est un de plus » que tout autre p_k. Maintenant, cela signifie que tout p_j est deux avec tout autre électron parmi les p_i.

DQTS3 : p_j « j-instancie » le type « être n-instance de F » si et seulement si $r_k(p_j, part^k(\{p_k\}^{k\in[1,i]\setminus j}))$ pour tout k = 2,… i.

Dans cette troisième et dernière version de la proposition ontologique d'analyse de la distinction numérique, nous disons qu'un particulier p_j est distinct numériquement parmi un nombre *i* déterminé de p_i existants, parce qu'il est *i* avec les *i – 1* autres, mais aussi qu'avec tout (*i – 2*)-uplet il est *i – 1*, qu'avec tout (*i – 3*)-uplet il est *i – 2*, … et avec tout (*i – k*)-uplet il est *i – k + 1*. Nous proposons d'identifier un p_j avec l'ensemble des relations r_k dans lesquelles il entre. On dira alors qu'un p_j est numériquement distinct de tous les autres p_k lorsqu'il est toutes les relations r_k. Cela peut paraître faire de relations, mais en réalité toutes ces déterminations relationnelles surviennent automatiquement sur les seules relations décrites par DQTS1, c'est-à-dire les relations binaires que tout p_j a avec tous les autres p_k.

Dans ce cadre, compter des électrons revient à construire un chemin de décompte en sélectionnant, par l'opération de mesure, et pour chaque p_j, une et une seule relation *r j*-adique, celle qu'il a avec les *j – 1* électrons déjà comptés. DQTS3 permet donc de rendre compte ontologiquement, et hors de tout contexte expérimental particulier, de la distinction numérique entre les électrons, qui permet ensuite de les compter dans un contexte expérimental. Elle en rend compte en expliquant en quoi tout p_j, parmi les p_i, forme des *k*-uplets d'électrons qui *sont k* électrons, avec *k* variant de 2 à *i*.

De cette même façon, DQTS3 rend compte des agrégats sans multiplier les propriétés ou les types. Il n'y a qu'un seul type, « être *n*-instance de F », mais chaque électron particulier, en étant un électron distinct de *i* autres (relation r_i). Le fait de la relation r_i rend suffisamment compte, ontologiquement, de ce que signifie l'énoncé « les p_i sont *i* électrons ». Nous n'avons pas besoin de postuler un type « être un agrégat de *i* électrons », mais considérons seulement qu'être *i* électrons consiste dans le fait que chaque électron est distinct numériquement en étant dans la relation r_i avec les $i - 1$ autres. De la même façon, nous expliquons pourquoi chaque électron d'un agrégat de *i* électrons entre aussi dans la composition de $i - 1$ agrégats de $i - 1$ électrons, et de façon générale, entre dans la composition de $\binom{i}{k}$ agrégats de *k* électrons. L'avantage ontologique principal à notre analyse est que nous pouvons permettre aux agrégats de se chevaucher partiellement, ce qui est impossible pour Armstrong car chez lui, un agrégat est un token d'un type d'agrégat, et donc un token numériquement distinct des autres tokens du même type.

4.3.6. Conclusion.

Dans cette section 4.3. sur la différence numérique, nous avons montré que, loin d'en constituer une objection, une situation de diversité d'individus est parfaitement admissible et comprise dans cette théorie. Pour cela, il a fallu d'abord montrer que l'individualité ne devait pas être comprise au sens d'une individualité primitive, qui n'avait sans doute pas de signification ontologique, et qui en tout cas ne permet pas clairement de fonder la distinction numérique. La notion d'individualité acceptable est alors celle, claire et distincte, des individus numériques qui sont tous identiquement « *un* particulier ». Ensuite, nous avons expliqué en quoi cette individualité numérique était parfaitement analysable dans le cadre de la théorie DVQ, comme un cas de déterminations et variations quantitatives.

A cette occasion, nous avons développé (trop) rapidement une théorie des propriétés quantitatives discrètes (types sortaux), et l'avons défendue indépendamment du fait qu'elle offre une ontologie de l'individualité compatible avec les thèses DQ et VQ. D'abord, elle nous a semblé être une analyse des agrégats plus adéquate que celle d'Armstrong, et donc comparativement préférable. Mais surtout, elle permet de fonder la « mesure » des quantités discrètes, c'est-à-dire le fait de compter des individus dans un agrégat. Tenir une diversité d'individus comme un cas de variations quantitatives entre déterminations d'un même type permet selon nous de fonder ontologiquement l'application non-arbitraire des nombres naturels par application de concepts sortaux, comme lorsqu'on compte des électrons.

Plus généralement, l'enjeu de ce chapitre III a d'abord été de présenter l'ontologie DVQ comme une solution au problème des propriétés génériques (sections 1. et 2.), et de la défendre comme la seule solution que nous trouvons, qui permet en outre une grande économie ontologique (section 3.). Mais

surtout, il s'est agi de répondre à la principale objection que cette théorie soulève, en expliquant pourquoi il ne fallait pas admettre de situation de particuliers divers quoique parfaitement identiques en nature, c'est-à-dire de situation de *distinctio solo numero* (section 4.). Nous avons d'abord montré comment l'on pouvait répondre à différentes situations empiriques qui nous semblaient suffisamment représentatives des cas que l'on peut rencontrer dans l'expérience. Et surtout, nous avons expliqué pourquoi la diversité numérique, loin d'être une objection à DVQ, constituait au contraire un cas tout à fait analysable de variation quantitative : la différence numérique entre individus, qui sont des déterminations d'un même type, sortal. Pour cela, nous avons avancé une théorie de la détermination relationnelle de l'individualité numérique, de ce que c'est qu'« être un ». Nous passons maintenant au cas général des quantités continues, en ouvrant une deuxième partie, entièrement consacrée à l'ontologie des quantités continue et aux conditions ontologiques de possibilité de leur mesure.

Deuxième partie : la quantification des phénomènes

Ontologie des quantités

Chapitre IV : Un réalisme des grandeurs physiques.

Dans ce chapitre, nous allons montrer en quoi DVQ n'est pas seulement la meilleure façon de concevoir les propriétés en général, et leurs instanciations, mais aussi et surtout une bonne théorie des propriétés quantitatives en particulier. Nous offrons alors ici une première défense de DVQ comme théorie des quantités, défense qui repose principalement sur des arguments comparatifs. C'est par comparaison avec les propositions existantes pour analyser la nature des quantités que DVQ nous semblera plus adéquate, pour trois raisons : elle est beaucoup plus économique ontologiquement, parce qu'elle conçoit les quantités déterminées comme des particuliers et non des propriétés (section 1.) ; elle est une authentique théorie ontologique du quantitatif, puisqu'elle le définit comme un mode d'instanciation particulière d'une propriété (section 1) – mode qui, selon les trois précédents chapitres, est le seul acceptable) ; et enfin, après avoir passé en revue les avantages des théories contemporaines des quantités, et surtout les problèmes qu'elles posent (section 2.), nous arguerons que DVQ est à même de résoudre ces problèmes tout en conservant ces avantages, et doit donc être acceptée comme la théorie des quantités la plus adéquate (section 3.).

Les arguments développés dans ce chapitre se situent donc sur le plan purement *a priori* de l'analyse ontologique. Dans les deux chapitres suivants, V et VI, nous développerons un long argument en faveur de DVQ comme théorie des quantités, qu'on pourra dire au contraire *a posteriori*. Nous montrerons que DVQ est une ontologie dont la vérité conditionne la possibilité des mesures que l'on fait en science et de la quantification de l'expérience. Mais le présent chapitre y prépare aussi, car dans le but de montrer comment DVQ adéquatement résout les problèmes qui se posent aux autres théories des quantités, nous proposerons une interprétation structuraliste de DVQ qui est absente du chapitre III. Nous expliquerons alors en quoi elle est une théorie des quantités comme structures instanciées, ce qui nous sera d'une grande utilité dans les chapitres sur les fondements ontologiques de la mesure.

1. Introduction à l'ontologie des quantités.

L'ontologie des quantités, malgré l'importance qu'elle devrait avoir en raison du caractère quantitatif du langage de la physique, représente en réalité une niche de la métaphysique contemporaine. Dans cette introduction, nous présentons les principales questions qui se posent à toute théorie des quantités (section 1.2.) pour examiner ensuite les principales théories y répondent. Mais avant cela, nous désirons motiver notre propre démarche, en expliquant quel réalisme des quantités nous voulons soutenir et pourquoi il nous semble important de le faire.

1.1. Un réalisme des grandeurs physiques.

Commençons alors par esquisser rapidement quelle approche des quantités nous allons développer à partir de DVQ, car nous pourrons ainsi la situer plus rapidement vis-à-vis des théories existantes. Ensuite, nous motiverons l'analyse ontologique du quantitatif en montrant l'obscurité dans laquelle est plongée aujourd'hui la notion de « quantité », puis en distinguant nettement le quantitatif du numérique.

1.1.1. La théorie DVQ des grandeurs.

Nous pouvons d'ores et déjà vérifier que les grandeurs, obtenues par la mesure des phénomènes naturels, satisfont simplement la thèse DVQ. Supposons que les grandeurs fondamentales décrites par notre meilleure théorie physique sont des propriétés génériques. Cette supposition relève du réalisme scientifique : elle affirme que les propriétés que nous désignons par les concepts quantitatifs des grandeurs physiques existent bel et bien. Nous verrons aussi, dans les prochains chapitres V et VI, qu'elle relève aussi plus spécifiquement du réalisme de la mesure, puisqu'elle fait de ces propriétés quantitatives les objets des mesures scientifiques. Parmi ces grandeurs, on compte par exemple la « Masse », qui est mesurée en kilogrammes (kg). Appliquons la théorie DVQ à cette grandeur physique.

Soient une pluralité d'objets matériels a, b, c, etc. qui tous possèdent une masse particulière m_1, m_2, m_3, etc. La thèse DQ énonce que ces masses particulières m_1, m_2, m_3 sont des instanciations *distinctes* de la même propriété parce qu'elles sont des *déterminations* différentes de cette même grandeur « Masse ». Il y a deux affirmations liées dans cette phrase : premièrement, que les instanciations de la propriété « Masse » ne sont pas des objets qui simplement « sont massifs », mais ce sont les masses déterminées. Autrement dit, DQ se présente d'abord comme une thèse sur les tropes quantitatifs : les objets ne sont pas des individus qui instancieraient des propriétés, mais sont eux-mêmes les instances de la propriété, c'est-à-dire des tropes de masses. Deuxièmement, DQ énonce que ces différentes masses ne sont pas distinctes parce qu'elles auraient des relations (à des objets distincts) ou des propriétés (de second ordre) différentes, mais parce qu'elles sont des *déterminations différentes* de la même grandeur. Comme Stout le disait très justement, elles diffèrent par le même aspect qui les rassemble comme cas particuliers de la *même* grandeur, la masse. Dans la suite, on appellera « magnitudes » ces tropes quantitatifs, car ils sont bien les déterminations de grandeurs physiques qui sont désignées dans la littérature sur la mesure comme des « magnitudes ». Ainsi, la thèse DQ affirme qu'être un cas ou une instance *particulière* de la même grandeur, c'est être une *détermination quantitative*, c'est-à-dire une magnitude différente des autres.

Ensuite, la thèse VQ permet de rendre compte du fait que ces différentes magnitudes, qui sont des déterminations différentes, sont néanmoins des cas particuliers de la même grandeur, à savoir la

Masse. En effet, VQ affirme que les différentes magnitudes ne sont rien d'autre que des instanciations de la Masse. Autrement dit, elles sont abstraites, parce qu'elles ne se distinguent entre elles qu'en tant qu'instances distinctes *de la même* propriété. Nous avions appelé cette différence de deux particuliers qui ne sont distincts qu'en tant qu'instances de la même propriété, une *variation*. Nous avions aussi expliqué pourquoi nous voyons dans une propriété dont les instances diffèrent par variation un *type quantitatif d'états de fait*. La Masse est donc un type d'états de fait, et les états de fait qui en sont les tokens sont les magnitudes en variations quantitatives les unes par rapport aux autres.

Ainsi, appliquée à toute grandeur physique M, notre théorie tient en deux énoncés fondamentaux :

DQ : les déterminations de M sont des cas particuliers instances de M.
VQ : M est un type d'états de fait dont les tokens sont des tropes en variation quantitative, formant une classe naturelle.

Cette théorie DVQ est donc un réalisme des quantités, puisqu'elle affirme que les propriétés quantitatives sont réelles. C'est pourquoi elle est essentiellement une théorie *cartésienne* de la réalité naturelle. Elle affirme que ce qui existe d'une façon absolument indépendante de notre esprit, de nos représentations mentales et de nos constructions linguistiques, c'est un monde fait de déterminations quantitatives qui sont les instances de grandeurs physiques, et qui sont connaissables par la physique mathématisée et expérimentale[56]. Notre argument général en faveur de cette thèse cartésienne affirme que seules existent les quantités parce que les thèses DQ et VQ sont les seules façons que nous avons de concevoir une pluralité d'instanciations particulières d'une même propriété (générique). Autrement dit, si le problème métaphysique des propriétés a une solution, alors il faut l'identifier à la théorie DVQ des quantités.

Mais c'est une chose de proposer une théorie des propriétés en général, et c'en est une autre d'avancer une bonne analyse de ce que sont les quantités dans la nature. Alors DVQ est-elle une bonne théorie des propriétés quantitatives, et quelle définition donne-t-elle du « quantitatif » ?

[56] D'un point de vue historique, on présente souvent cette position cartésienne par la distinction entre « qualités premières » qui, comme l'étendue, la figure et le mouvement, caractérisent la réalité en elle-même, et les « qualités secondes » qui ne réfèrent qu'à notre rapport sensible aux choses. Mais on ne trouve pas cette distinction chez Descartes, puisque c'est Locke qui l'a proposée le premier, en y cherchant une différence entre deux sortes *d'idées,* et non entre deux sortes de propriétés des choses (Locke, 2000, p. 89). Or, avec Descartes, la distinction pertinente n'est pas entre qualités secondes et premières, mais entre les qualités, qui sont des idées produites en nous par l'affection de nos sens, et la quantité qui est la réalité extérieure (la substance étendue et ses modes – modes qui sont, et ce n'est pas un hasard, des *déterminations* de l'étendue).

1.1.2. La nécessité d'une ontologie du « quantitatif ».

La preuve principale de la validité de la théorie DVQ, comme *théorie des quantités*, ne sera proposée que dans les chapitres suivants, V et VI. Ils s'attacheront à montrer que cette théorie ontologique est réclamée comme le fondement du réalisme métrique, qui affirme la possibilité de la signification objective des résultats de la mesure. Elle nous permettra alors d'identifier ces déterminations quantitatives à ce qui est mesuré dans le cadre des procédures expérimentales. Dans ce chapitre IV, notre but est plutôt de situer et défendre notre théorie dans le champ actuel des théories des quantités physiques.

Partons pour cela d'un reproche que l'on pourrait d'emblée faire à l'égard de la thèse cartésienne que nous venons de présenter, qui réduit le réel au « quantitatif ». Il est facile, nous dira-t-on, d'identifier la réalité extérieure à la pure « quantité » sans partir d'un sens courant de « quantité ». Le « quantitatif » attribué aux propriétés, types ou déterminations, a certes été distingué du qualitatif, mais on ne voit pas immédiatement ce qu'il désigne de vraiment quantitatif. Ainsi, nous dira-t-on, l'ontologie DVQ n'émerge pas d'une préalable analyse des quantités dans la nature, et se présente bien opportunément comme théorie des propriétés « quantitatives ». Pour répondre à ce reproche, discutons rapidement cette notion du quantitatif afin d'établir la nécessité d'en faire une analyse ontologique.

Avons-nous seulement une notion courante de la quantité et du « quantitatif » ? Rien n'est moins sûr. Nous avons certes une notion du nombre et une conception courante de la quantité numérique comme « nombre de quelque chose ». Mais cette notion et cette conception ne portent que sur l'expression numérique des quantités, et ce qu'est la quantité elle-même, indépendamment de son expression numérique, demeure bien plus obscur. C'est sur la base de cette obscurité, et de la distinction entre le « quantitatif » et le numérique, que nous allons en motiver l'analyse ontologique.

1.1.2.1.L'obscurité du « quantitatif ».

On nous reprocherait peut-être de ne pas partir d'une notion préalable et admise du « quantitatif », mais force est de constater que cette notion n'existe plus. La tendance du développement historique des mathématiques, de l'antiquité à l'époque contemporaine, est au contraire à la « déquantification » dans l'analyse de l'objet et de la nature des mathématiques.

Quel est l'objet des mathématiques, et de quoi les mathématiques sont-elles les théories ? A l'époque de Platon et d'Aristote, on aurait répondu : des *quantités,* discrètes et continues. Mais à partir de Descartes, on répond : de l'ordre général, indépendant déjà de la mesure. Et aujourd'hui, la tendance serait à répondre : des structures et de leur propriétés intrinsèques, c'est-à-dire non-numériques. On cherche l'essence des mathématiques dans les propriétés qualitatives de leurs objets, indépendamment de leur expression numérique. Ce développement historique concourt à obscurcir considérablement le

sens du terme de « quantité », puisqu'il n'est plus, depuis longtemps, au centre des réflexions sur la nature et l'objet des mathématiques[57].

Sur fond de cette obscurité, voici quelle est notre démarche. Nous proposons une définition *métaphysique* de la quantité, dans les termes d'une théorie de l'instanciation. Nous proposons de penser que le « quantitatif » concerne la façon dont les propriétés sont le cas dans les particuliers. Cette proposition, aussi éloignée qu'elle paraisse des notions intuitivement quantitatives (le beaucoup, le plus ou moins, l'infini, la mesure, etc.), s'en rapprochera lorsqu'on abordera ensuite les problèmes de la mesure et de l'application de concepts numériques. Voici, donc, cette définition : nous appelons « quantité » ou « grandeur » toute propriété générique dont les instanciations particulières sont toutes ses déterminations différentes. L'intuition, derrière cette définition, est qu'une quantité est une propriété qui est « différemment la même » à travers toutes ses instanciations distinctes. Métaphysiquement parlant, ce que nous appelons « quantité » est la seule façon de concevoir comment une diversité de cas particuliers sont des instanciations distinctes de la même propriété. La première motivation de ce chapitre est de confronter cette définition aux théories existantes du quantitatif.

1.1.2.2.La distinction du quantitatif et du numérique.

Aussi, l'obscurcissement historique de notre notion de la quantité est en grande partie dû à la confusion entre le quantitatif et le numérique, opposés conjointement au qualitatif. La confusion est ancienne, y compris dans les analyses ontologiques classiques du quantitatif et des quantités. Dessinons-les grossièrement.

En effet, selon une première direction que l'on pourrait appeler « pythagoricienne », les quantités dans la nature sont intrinsèquement des quantités numériques, c'est-à-dire des « nombres de quelque chose ». Attribuer par exemple à un objet une certaine masse, c'est dire qu'il y a en lui un certain nombre de quelque chose. Le quantitatif y est d'emblée définit comme du numérique. A l'inverse, il existe une seconde direction, beaucoup plus récente, qui est déflationniste : elle propose d'analyser le quantitatif en le réduisant à du qualitatif. Selon cette approche, il n'y a dans la réalité que

[57] Il serait intéressant, si notre but était historique, d'étudier les resurgissements de leur caractérisation quantitative, au sein de cette évolution vers une thématisation toujours plus qualitative des objets des mathématiques. Significativement, ce sont les mathématiciens-physiciens, comme Euler et Newton, qui maintenaient encore le lien entre objet mathématique et quantité (Newton, 1728) (Euler, 1822). Dans l'époque contemporaine, la géométrie générale riemannienne ainsi que la théorie ensembliste constituent à leur tour des hapax, avec l'irruption des concepts de « variété » ou de « multiplicité » (*Mannigfaltigkeit*). Le fait que le développement avancé et de plus en plus formel des mathématiques se soit fait en abandonnant le concept de quantité s'explique historiquement : les mathématiques modernes se sont développées en s'émancipant des limites intuitives qui contraignaient notre conception de la quantité. Par exemple, le développement de la notion de nombre, qui inclut les nombres négatifs, puis fractionnaires, puis transcendants, puis complexes… est rythmé par l'abandon de nos conceptions intuitives de la quantité. Comment considérer qu'un nombre négatif représente une quantité réelle ? Plus encore, un nombre complexe peut-il être encore compris comme une quantité (comment une quantité pourrait-elle avoir des racines négatives…) ? Ces nouveaux concepts de nombres ont été forgés en abandonnant le lien avec la quantité réelle telle qu'elle était conçue ou imaginée intuitivement, et leur développement a trouvé son milieu naturel dans l'idée formaliste que ces concepts sont qualitatifs. Mais n'est-il pas temps de forger un nouveau concept de quantité ?

des ensembles de particuliers se tenant dans des relations qualitatives, et le quantitatif ne tient alors qu'à la représentation numérique que nous faisons de ces relations qualitatives. Pour le dire simplement, les nombres ne sont pas dans les choses, mais dans les représentations que nous en donnons.

Ces deux directions s'opposent sur la signification ontologique du nombre, mais convergent dans la réduction du quantitatif au numérique. Que l'on projette les nombres eux-mêmes dans les choses, ou bien que l'on enferme le quantitatif dans les seules représentations numériques, c'est tout un de ce point de vue : le quantitatif et le numérique sont confondus.

Or, les deux théories concurrentes, que nous allons aborder ensuite, refusent fondamentalement cette assimilation du quantitatif au nombre, et partent au contraire du principe que le « quantitatif », l'essence des quantités physiques, désigne ce qui, ontologiquement, rend possible et fonde nos attributions numériques. Si nous attribuons, à la suite de procédures réglées de mesure, le prédicat « a une masse de 5kg » à un objet, la vérité de cette attribution est possible parce que cet objet possède une quantité, « la masse », et c'est le fait que cet objet possède une détermination de cette quantité, sa masse déterminée, qui rend vraie (ou fausse) cette attribution. L'expression numérique est du côté de la représentation, et dépend de beaucoup de conventions. Mais si une attribution numérique, comme le résultat d'une mesure, peut avoir une validité objective, c'est en vertu de ce que le numérique dénote, qui est du quantitatif non-numérique.

On pourra comprendre les théories de (Armstrong, 1988) d'un côté, et de (Bigelow & Pargetter, 1988) de l'autre, comme des tentatives de poursuivre les deux directions dessinées au-dessus, tout en tenant compte de la distinction entre le quantitatif et le numérique. Chez Armstrong, comme dans la voie pythagoricienne, la quantité déterminée est une propriété intrinsèque des objets, mais elle n'est pas en tant que telle un nombre. Chez Bigelow et Pargetter, comme dans la théorie qualitative, une quantité s'analyse de façon relationnelle. Mais il faut enrichir cette structure pour rendre compte du fait qu'elle engendre des relations numériques de proportions, auxquelles se réfèrent nos mesures. Mais avant de présenter leurs théories, nous devons achever cette introduction en exposant les problèmes principaux que doit résoudre une analyse ontologique des quantités.

1.2.Introduction aux problèmes de l'ontologie des quantités.

Le fait fondamental dont il faut rendre compte avec les quantités, est signalé par Bigelow et Pargetter : deux particuliers sont les mêmes et différents sous le même aspect, à savoir comme cas particulier d'une même propriété ou, comme ils l'écrivent :

> Les quantités sont problématiques, parce qu'il semblerait que deux choses soient à la fois « les mêmes » et « différentes », et cela sous le même aspect. Deux choses peuvent être les mêmes, en ce que toutes

> deux ont une masse ; mais elles sont en même temps différentes, en ce que l'une a une masse plus grande que l'autre. (Bigelow & Pargetter, 1988, p. 288)

Il existe dans la littérature actuelle deux grandes théories ontologiques sur les quantités. La première, développée par Bigelow et Pargetter, analyse une quantité (c'est-à-dire une grandeur physique, comme la Masse) comme une structure relationnelle entre des propriétés déterminées qui sont toutes les magnitudes différentes d'une même grandeur, par exemple toutes les masses spécifiques. Ces propriétés déterminées sont analysées comme des *faisceaux de relations* qui les déterminent comme les places dans cette structure. La seconde, développée contre la première par Armstrong, fait d'une quantité une classe de *propriétés monadiques* (correspondant aux mêmes propriétés déterminées), sur lesquelles surviennent des faits relationnels et structuraux. Ces auteurs se disputent donc autour du caractère ou bien monadique, ou bien relationnel, de ces propriétés déterminées, afin de rendre le mieux compte du fait qu'elles se composent en une structure.

Mais on s'aperçoit aussi que ces deux théories rivales ont un présupposé commun. Elles conçoivent les magnitudes, c'est-à-dire les déterminations des quantités, comme des *propriétés* – pour se demander ensuite si ces propriétés sont monadiques ou bien relationnelles. C'est ce que rejette notre thèse DQ. Les magnitudes sont les déterminations différentes d'une même grandeur et les instances particulières de cette même propriété quantitative. Autrement dit, les magnitudes sont des particuliers et non des propriétés qui pourraient se répéter, et avoir plusieurs instances.

Nous n'avancerons dans ce chapitre aucune preuve positive en faveur de la conception DVQ des quantités. Nous allons présenter et discuter les deux théories rivales, pour bien comprendre quels sont les problèmes ontologiques qu'elles essaient de résoudre. Mais nous pouvons d'ores et déjà annoncer deux arguments comparatifs en faveur de DVQ comme analyse ontologique du quantitatif. Notre théorie, premièrement, est *beaucoup plus économique* ontologiquement – elle partage cet avantage avec toute autre théorie des tropes quantitatifs. Et deuxièmement, DVQ est une conception *intrinsèque* du quantitatif, au sens où elle n'est pas la sophistication seconde d'une conception des propriétés qualitatives. Elle propose au contraire une conception spécifique des quantités.

En effet, on peut relever deux tâches que doit remplir une ontologie des quantités, et que Bigelow et Pargetter de leur côté, Armstrong de l'autre, remplissent de façons différentes, avec leurs avantages propres. La première consiste (1) à rendre compte ontologiquement d'une structure, que nous appellerons *structure de détermination*, qui est décrite par les relations de Johnson, et qui semble particulièrement valable dans le cas des quantités. Il s'agit de rendre raison du fait que différents particuliers sont des nuances diverses et déterminées d'une même propriété déterminable. C'est par rapport à cette tâche que vaut notre premier argument : nous pensons que DVQ permet de satisfaire (1) de façon beaucoup plus *économique* que les théories adverses.

Une fois qu'on a rendu compte de cette structure de détermination, nos auteurs considèrent qu'il faut ensuite (2) fonder ontologiquement le fait que ces nuances du déterminable sont en réalité des nuances *quantitatives*, c'est-à-dire des *degrés*, du déterminable. C'est à ce moment-là seulement qu'ils analysent le quantitatif à proprement parler. C'est par rapport à cette tâche que vaut notre second argument : nous pensons que DVQ est meilleure que les théories adverses parce qu'elle ne fait pas du quantitatif un raffinement ajouté à la structure de détermination, mais le propre de cette structure même. Pour un particulier, être un degré d'une même grandeur que d'autres particuliers, tout en étant quantitativement différents d'eux, c'est tout simplement être une détermination différente de la même grandeur.

1.2.1. Une analyse économique du quantitatif.

La première tâche pour nos auteurs consiste à rendre compte de la structure de détermination de Johnson, que satisfont effectivement les propriétés quantitatives. Voyons comment il est possible d'en rendre compte de la manière la plus économique possible.

1.2.1.1.La structure de détermination de Johnson

La structure de détermination est formée par les relations R_1 et R_2 ci-dessous. Intuitivement, R_1 et R_2 composent le fait que divers particuliers sont les mêmes et différents sous le même aspect : ils sont tous des cas d'une même propriété dite déterminable, mais sont différents justement sous ce même aspect, c'est-à-dire en tant que déterminations différentes de ce déterminable. Selon (Johnson, 1921), cette grammaire de la détermination est décrite par ces deux relations :

> *(R_1) Pour tout x, si x est M, alors il est soit m_1, soit m_2... soit m_n, c'est-à-dire l'une des déterminations à l'exclusion des autres.*
> *(R_2) Pour tout x, si x est m_1, ou m_2... ou m_n, alors x est M.*

Cette structure se retrouve dans les couleurs. Par exemple, a, b, c, etc. sont des particuliers verts, mais de verts (parfois) différents. Soit V la propriété « être vert ». Et v_1 « être vert émeraude », v_2 « être vert forêt », etc. jusqu'à v_n « être vert menthe », avec $\{v_1, v_2,\dots v_n\}$ un ensemble de déterminations du vert qui épuise toutes les nuances de cette couleur. Ces propriétés sont un déterminable et des déterminées si, et seulement si tout objet qui est vert possède forcément l'une de ces nuances déterminées de vert, et que tout objet qui présente l'une de ces nuances peut être dit « vert ». Mais cette structure se retrouve éminemment dans les propriétés quantitatives, comme on le vérifie aisément en

prenant « M » pour la Masse en général, et m_1, m_2, m_3, pour des masses déterminées, comme 1 kg, 2,612 kg, et π kg. Il faut donc que toute analyse des quantités satisfasse cette structure de détermination.

Dans les analyses rencontrées jusqu'ici, le déterminable est bien évidemment une propriété, mais chaque détermination aussi est à son tour une propriété. Il s'agit alors de rendre compte d'une structure entre propriétés déterminées et propriété déterminable. Pour Johnson lui-même, le déterminable et une de ses déterminations sont des propriétés de l'objet particulier, au même niveau. Cette table est verte *et* elle est aussi vert menthe. La structure de détermination décrite par R_1 et R_2 est alors censée se fonder sur le fait que tous les objets qui ont une propriété déterminée ont la propriété déterminable (toutes les tables qui sont d'un vert déterminé ont aussi la propriété d'être vertes), et tous les objets qui ont le déterminable possède l'une des propriétés déterminées.

Comme l'écrivent Bigelow et Pargetter, cette théorie permet bien d'expliquer comment deux objets se ressemblent (ils sont tous les deux verts) et dissemblent (ils possèdent des verts déterminés différents). Mais la théorie de Johnson ne permet pas véritablement de rendre compte des relations R_1 et R_2, car elle revient à postuler les bonnes extensions des propriétés déterminées et déterminable pour que ces relations soient le cas ; autrement dit, les relations R_1 et R_2 ne sont respectées que parce qu'on a stipulé que les propriétés déterminées et le déterminable avaient des extensions adéquates. En plus de cette critique, on peut ajouter que ce n'est pas sous le même rapport que les objets diffèrent et se ressemblent, mais finalement sous deux rapports distincts : ils se ressemblent sous l'aspect du déterminable, et diffèrent sous ceux des déterminés.

(Bigelow & Pargetter, 1988) proposent donc une théorie plus élaborée, qui distingue des ordres de propriétés. Les objets ont des propriétés déterminées. Par exemple, cette table est vert-menthe, cette chaise est vert-émeraude. La possession de ces propriétés différentes explique bien la différence (de couleur) entre ces deux objets. Mais elles ne sont pas simplement de couleurs différentes, car elles sont pourtant toutes les deux vertes. Comment rendre compte de ce qu'elles ont en commun ? Bigelow et Pargetter partent du principe que ce sont d'abord leurs verts déterminés qui ont quelque chose en commun. Ainsi, la propriété « être vert-menthe » comme la propriété « être vert-émeraude » possèdent la propriété de second ordre « être un vert ». Enfin, cette dernière explique ce que les deux verts différents ont en commun, mais pas ce que les deux *objets* verts ont en commun. Or on s'aperçoit qu'ils ont bien un point commun : tous deux possèdent une propriété déterminée qui a une certaine propriété de second ordre, « être un vert ». La chaise, comme la table, ont une nuance du même déterminable. D'où l'idée d'un troisième ingrédient, une propriété de second ordre des objets eux-mêmes : « avoir une propriété de premier ordre qui a telle ou telle propriété de second ordre ».

Bigelow et Pargetter pensent analyser ainsi ce que signifie, pour la table, d'avoir *une* nuance de vert. C'est avoir une propriété déterminée (comme « être vert-menthe ») qui est un vert. Finalement, on aboutit, après une théorie plus complexe que celle de Johnson, à un résultat proche : deux objets qui ont des nuances différentes de la même couleur déterminable sont différents par leurs propriétés de premier

ordre (l'un est vert-menthe, l'autre est vert-émeraude), mais semblables par une propriété étonnante, celle d'« avoir des nuances de vert », c'est-à-dire la propriété d' « avoir des propriétés qui ont la propriété d'être des verts ». Une telle théorie, par le surcroît de structure entre les propriétés postulées, rend mieux compte que celle de Johnson des relations d'implication R_1 et R_2. Qui plus est, Bigelow et Pargetter pensent proposer une théorie plus économique :

> Selon cette théorie, il y a alors trois ensemble de propriétés dont il faut prendre note. Et ce sont sur les propriétés élémentaires de premier ordre que toutes les autres surviennent. (Bigelow & Pargetter, 1988, p. 293)

Ils affirment donc (1) que la propriété de second ordre « être une nuance de vert » survient automatiquement sur les verts déterminés, et (2) que le fait qu'un objet possède une propriété qui a une propriété se traduit sans ajout par l'existence d'une tierce propriété possédée par l'objet : « être une instance d'une détermination du vert ». Que faut-il en penser ? Ici, nous ne nous concentrons pas tant sur (2), qui n'est nécessaire que si l'on tient absolument à « redescendre à l'objet », partant du principe que ce sont les objets que l'on compare selon leurs couleurs, et non leurs couleurs elles-mêmes. Nous verrons plus loin que selon notre propre théorie des tropes quantitatifs, nous n'aurons plus besoin de faire cette descente, puisque l'objet est le trope, c'est-à-dire une propriété déterminée et instanciée. Mais que penser de (1) : tout ce qui « est vert-menthe » est-il un cas de « être un vert » ?

En réalité, c'est ajouter un type « être un vert » en plus de la propriété « être vert-menthe » ou « être vert-émeraude ». Il y a, comme dans notre critique générale de la théorie des universaux d'Armstrong, une abstraction en contrebande : on n'a pas le droit de penser que la propriété « être vert-menthe » instancie en vertu seulement de ce qu'elle est « être une nuance du vert ». Sinon, il n'y aurait à aucun moment besoin de toute cette structure : au niveau même du particulier qui est vert menthe, on aurait tout de suite aussi cet abstrait : il est un cas de vert. Nous développerons plus précisément cette critique de leur théorie dans le traitement qu'elle offre des quantités.

1.2.1.2.Combien de propriété(s) pour analyser une seule grandeur physique ?

Il nous suffit ici de rappeler qu'Armstrong, Bigelow et Pargetter sont des universalistes, et qu'ils tiennent les propriétés (rares) pour des universaux. Le premier ne tient pour réels que les universaux actuellement instanciés (en un lieu et un moment passé, présent ou à venir), les seconds sont platoniciens et accordent également des universaux non-instanciés. Il faut donc bien mesurer l'engagement ontologique qu'implique leur analyse des quantités : pour analyser une seule grandeur physique, comme la masse, il leur faut postuler autant d'universaux que de masses déterminées, c'est-à-dire une quantité abyssale bien que probablement finie pour l'aristotélicien, et pire encore, une quantité non-dénombrable

(la puissance du continu) pour les platoniciens, à quoi s'ajoute une unique propriété correspondant au déterminable. Devant une telle libéralité, toutes les précautions que prennent ailleurs ces auteurs pour ne pas multiplier les universaux, en niant la réalité des propriétés disjonctives ou négatives, ou bien en défendant un réalisme *a posteriori* des universaux, qui infère leur existence des conditions de vérité de nos meilleures théories scientifiques, paraissent bien dérisoires. Avec ou sans ces précautions, on se retrouve toujours à postuler un très, très grand nombre d'universaux, sinon une infinité, pour analyser *une seule* grandeur physique.

En revanche, si l'on suit DVQ, il n'y a qu'une seule propriété à postuler pour analyser une grandeur physique. Nous identifions la grandeur M, qui est le déterminable, avec une propriété conçue comme type quantitatif. Dans DVQ, les magnitudes m_1, m_2, m_3, etc. ne sont pas tenues pour des propriétés, mais pour des instanciations différentes de M, c'est-à-dire des particuliers qui *sont* différentes façons d'être massif. Ainsi, « être une masse de 3kg », en tant que détermination du déterminable « être massif », n'est pas une propriété mais une instanciation de « être massif ».

Or il est aisé de s'apercevoir que DVQ rend parfaitement compte des relations R_1 et R_2 caractéristiques des structures de détermination. Selon DQ, être une instanciation de la Masse, être massif, c'est forcément être une masse déterminée qui est différente des autres. Donc R_1 est fondée. VQ, de son côté, explique le fait qu'une masse déterminée soit forcément une instance de la même propriété que les autres masses déterminées, et qu'elles sont toutes des déterminations variables du même type « être une instance de masse », donc R_2 est à son tour fondée.

La nouveauté que nous introduisons donc est de ne pas distribuer le déterminable et les déterminés entre deux niveaux de *propriétés* différentes (la propriété déterminable, les *propriétés* déterminées) mais entre une unique propriété quantitative (le déterminable) et ses instanciations particulières (les déterminations quantitatives). Lorsqu'un état de fait consiste en cet aspect *déterminé* d'avoir une masse de 3 kg, il est une *occurrence* de la propriété déterminable et non une propriété, comme si d'autres objets pouvaient posséder la même masse de 3kg. L'avantage est considérable, car ainsi pour analyser ontologiquement une grandeur physique, nous n'avons pas à postuler une infinité de propriétés (plus une), mais un seul et unique type d'états de fait dont les *tokens* sont des déterminations quantitatives différentes[58].

Bien sûr, cette analyse soulève ses propres difficultés. On pourrait tenir pour intuitivement évident que deux particuliers peuvent, par exemple, avoir la même masse. Nous avons répondu plus haut à cette objection, en ces différents sens possibles. On se rappelle également que l'impossibilité, d'après la théorie DVQ, pour une magnitude comme une masse de 3kg d'être répétée dans l'existence en des particuliers distincts, peut poser problème pour la confirmation inductive des lois. L'induction

[58] Cet avantage est partagé, il faut l'avouer, avec toute théorie des tropes quantitatifs, puisque dans une théorie des tropes nous n'avons à postuler, en termes d'entités suspectes (ces entités que le nominaliste voudrait retirer de l'ontologie à coup de rasoir d'Occam), que des classes de tropes.

ne consiste-t-elle pas à confirmer une généralisation en observant un certain nombre de cas particuliers numériquement distincts mais identiques en nature ? Nous ne pouvons toujours pas répondre à cette objection, mais seulement signaler qu'elle se complique. Car une loi de la nature, que l'on voudrait ici confirmer par induction, est couramment analysée comme une relation (nomique) entre grandeurs physiques, par exemple, la masse M et l'énergie E. Or, comme nous le verrons au chapitre VII, si l'on suit Armstrong en admettant autant de propriétés que de magnitudes pour toute grandeur physique, alors une loi n'est pas simplement une relation entre quelques grandeurs (comme la masse et l'énergie), mais il y a autant de lois différentes que de relations entre les magnitudes différentes de ces grandeurs. Si bien que les tenants des universaux mettent l'induction bien plus en difficulté que nous, dans la mesure où, en les suivant, pour confirmer inductivement ce que les scientifiques nous présentent comme une seule loi, il faut chez eux en confirmer une infinité.

1.2.2. Une analyse propre du quantitatif.

Une fois qu'on a rendu compte de la structure de détermination, il faut analyser de façon satisfaisante le fait que les magnitudes déterminées sont des *degrés* du déterminable. Il s'agit bien, pour eux, d'une tâche séparée de la première. Puisqu'ils admettent, à côté des quantités, des propriétés qualitatives comme les couleurs et leurs nuances, qui présentent la même structure générale de détermination, il leur faut bien rendre compte de cette dernière avant de considérer, plus spécifiquement, le cas des propriétés quantitatives. Nous examinerons à partir de la section 2. leurs réponses à cette question.

Mais cette séparation ne vaut plus chez nous, puisque nous n'accordons de réalité qu'aux propriétés quantitatives. Autrement dit, la structure de détermination des *qualités* n'aura plus besoin, chez nous, de recevoir une fondation ontologique, puisque nous ne sommes prêts à dire ces qualités « réelles » qu'en un sens tout à fait diminué : au sens du réalisme interne de Putnam. Par conséquent, pour les qualités comme le vert et ses nuances, la structure de détermination décrite par les relations de Johnson ne vaut qu'à l'intérieur d'une sémantique bien établie, et s'analyse par des relations entre les extensions des prédicats déterminés et déterminables. Cette analyse n'est pas conçue pour avoir une signification ontologique. Comme le disait Descartes, nous ne pensons pas que ces qualités *représentent* quelque chose de réel dans les particuliers, au sens où nous ne cherchons pas à fonder ontologiquement cette structure – il peut revenir, en revanche, au travail scientifique d'expliquer, par une loi de réduction, comment elle est une manifestation sensible d'une structure quantitative sous-jacente, par exemple par une théorie physique des couleurs. La structure de déterminations quantitatives qui aura alors pour nous une fondation ontologique sera celle de la propriété « avoir une longueur d'onde » caractéristique des rayonnements électromagnétiques, et qui est instanciée dans tous les cas particuliers de longueurs d'onde déterminées.

Par conséquent, et contrairement à nos trois auteurs, nous pouvons ne plus séparer l'analyse ontologique de cette structure de déterminations et celle des degrés quantitatifs. Le quantitatif n'est pas un aspect ajouté dans un second temps à une analyse des propriétés qualitatives. Au contraire la quantité n'est métaphysiquement rien d'autre que cette forme de variations entre instances d'une même propriété qui est décrite par la structure de détermination. L'analyse du combien n'est alors plus une tâche subalterne en ontologie des propriétés, comme si le cas simple et premier était la propriété qualitative, dont la quantitative n'était qu'une sophistication. L'ordre traditionnel d'analyse des propriétés – où l'on commence toujours par le qualitatif – est renversé.

Ce faisant, nous donnons en même temps une analyse ontologique intrinsèque du quantitatif, dans la mesure où il concerne *ce que c'est*, pour divers particuliers, que d'être des instances distinctes d'une même propriété. En effet, nous soutenons qu'être une magnitude déterminée, comme « être une masse de 3kg », n'est pas une propriété supplémentaire qui s'ajouterait à l'être massif, mais la détermination quantitative est *l'instanciation elle-même*. Être un cas particulier de la masse, c'est-à-dire du type générique « être une instance de Masse », c'est être une masse déterminée, c'est-à-dire une certaine magnitude de la masse. Maintenant, selon VQ, le fait que les différents cas particuliers de la masse soient des *degrés* variables de la Masse s'explique par la nature même de ce qui les réunit comme instances de la même propriété. En effet, les divers particuliers qui sont des masses déterminées sont abstraits, en ce qu'ils ne sont rien d'autre que des cas particuliers du déterminable « être une masse ». Nous avons appelé *variations quantitatives* ces différences entre particuliers qui ne se distinguent qu'en tant que déterminations distinctes de la même propriété. Bien sûr, nous devons encore expliquer comment ces déterminations peuvent entrer dans des relations de *plus* ou de *moins*, et présenter des rapports de proportions, qui justifieraient définitivement que nous parlions ici de « variations » et de quantités. Mais avant d'y venir, signalons que DVQ propose ainsi une *définition métaphysique* du quantitatif, en n'en faisant rien d'autre que le cœur même de l'ontologie de l'instanciation multiple d'une propriété. A nous, ensuite, de fonder sur cette ontologie les faits structuraux caractéristiques des quantités : classement selon le plus ou le moins, relations de proportion, etc.

Bigelow et Pargetter signalent une autre analyse du quantitatif qui a le mérite de placer le quantitatif au cœur même de l'analyse de l'instanciation des propriétés. Cette approche se fonde sur l'idée, intuitive, qu'un particulier peut *plus ou moins instancier* une même propriété. De cette façon, la propriété « être massif » par exemple reste qualitative, mais c'est sa possession par les particuliers massifs qui est susceptible de degrés. Plus elle est instanciée dans un particulier, plus ce particulier est massif. Les différences quantitatives entre les particuliers qui instancient une même propriété s'analyseraient comme des degrés d'instanciation.

Bigelow et Pargetter attribuent cette théorie à Platon, dont la théorie des Formes décrirait des universaux qui existent indépendamment des particuliers concrets. Ces derniers en retour participeraient à des degrés divers à ces Formes. Les degrés de cette relation de participation pourraient alors être le

fondement pour l'aspect quantitatif des propriétés instanciées. Ils attribuent cette analyse au Platon du *Philèbe*, mais ils précisent à raison qu'on retrouve le même schéma d'explication du quantitatif dans une théorie nominaliste de la ressemblance. Divers particuliers possèdent plus ou moins une qualité, non plus par des degrés plus ou moins grands de participation à une unique Forme, mais par leur ressemblance plus ou moins grande à un particulier pris comme « paradigme ».

Dans tous ces cas, l'aspect quantitatif de l'instanciation d'une propriété est expliqué par une relation (participation ou ressemblance) qui admet des degrés. Mais cela signifie que le problème n'est en réalité pas résolu, puisqu'il est reconduit au niveau de l'instanciation de cette relation elle-même. Comment rendre alors compte du fait que divers particuliers qui ont la même propriété (« être massif ») entretiennent *la même relation* (de participation ou de ressemblance) avec l'entité archétypale (la Forme platonicienne ou le paradigme berkeleyen), et pourtant des relations *différentes* puisqu'ils instancient la propriété (« être massif ») à des degrés différents ? Le problème fondamental de l'analyse du quantitatif n'est donc pas résolu.

Ainsi, nous pensons donc que les théories de Bigelow et Pargetter d'un côté, d'Armstrong de l'autre, souffrent de ne pas proposer une analyse intrinsèque du quantitatif. Pourtant, maintenant que nous allons pénétrer plus en avant dans leurs théories, ce reproche semblera s'annuler. En effet, on s'apercevra que pour rendre compte du quantitatif, ces auteurs sont conduits à des modifications substantielles de la théorie initiale des qualités. Ces modifications sont l'effet de la prise en compte du caractère quantitatif. Chez Bigelow et Pargetter, ce sera le passage à une théorie *relationnelle* des déterminations (quantitatives). Chez Armstrong, ce sera l'analyse des déterminations (quantitatives) comme des universaux *structuraux*. Examinons maintenant cela en détail.

2. Théorie relationnelle contre théorie substantialiste des déterminations quantitatives.

Plongeons maintenant au cœur de l'ontologie des quantités, et dans le débat entre Bigelow et Pargetter d'un côté, et Armstrong de l'autre, autour de la nature, relationnelle ou bien monadique, des déterminations quantitatives ou magnitudes.

2.1.Théorie relationnelle contre théorie substantialiste des quantités.

Avant de faire le tour des arguments, présentons d'abord rapidement les deux théories opposées. Il est nécessaire de procéder ainsi, dans la mesure où certains des arguments avancés par les deux camps sont faibles parce qu'ils ne font vraiment sens que dans le cadre de la théorie défendue. Exposer d'abord ces théories nous permettra de discuter ainsi de la force des arguments.

2.1.1. La théorie relationnelle de Bigelow et Pargetter.

Chez Bigelow et Pargetter, la transposition de leur analyse de la structure de détermination au cas des quantités s'organise dans un passage à une théorie relationnelle de ces déterminations, qui implique de réinterpréter les trois niveaux de propriétés distingués au-dessus : les propriétés déterminées, le déterminable et la propriété (de deuxième ordre) par laquelle l'objet a une propriété qui est une détermination de ce déterminable.

En premier lieu, les propriétés déterminées, qui sont maintenant des magnitudes de grandeurs physiques, sont analysées comme des faisceaux de relations. Par exemple, « être de masse m_1 » devient « avoir une multitude de relations de masse (*mass-relations*) avec les autres magnitudes de la même grandeur » : « être deux fois plus massif que », « être trois fois plus massif que », etc. Ensuite, la propriété de second ordre des magnitudes devient une propriété de second ordre de ces relations de premier ordre, comme « être une relation de masse ». Le fait que toute magnitude consiste en un faisceau de relations qui sont des relations déterminées de masse rend compte du fait qu'elle est une détermination de ce déterminable. Enfin, cette propriété de second ordre des relations implique une propriété de second ordre des objets : « entrer en relations de masse » avec d'autres objets. Ainsi, tout objet massif (1) instancie un faisceau de relations qui déterminent la magnitude de sa masse, (2) ces relations instancient la propriété d'être des relations de masses et enfin l'objet est par conséquent « massif » parce que (3) il instancie la propriété d'être en relations avec d'autres objets qui sont des relations de masse. Ils analysent ainsi comment des objets peuvent être les mêmes tout en étant différents sous le même aspect (en tant qu'objets massifs, ici).

C'est principalement le point (1) qui permet ensuite à Bigelow et Pargetter de rendre compte du caractère quantitatif des magnitudes, analysées comme faisceaux de relations déterminées :

> Néanmoins, la théorie relationnelle n'est pas encore complète. Ce qui n'a pas encore été expliqué est la façon dont certaines relations de masse sont en un sens « plus proches » entre elles que d'autres. […] Pour aboutir à une théorie adéquate des quantités, nous devons donc passer à une seconde étape de construction. Il n'est pas suffisant de remarquer que les relations de masse ont toutes quelque chose en commun – ou une propriété commune. Nous devons ajouter que les relations de masse peuvent être plus ou moins similaires entre elles. Les relations « être 5 fois plus massif que » et « six 6 plus massif que » sont en un certain sens plus proches entre elles qu'avec « être 100 fois plus massif que ». (Bigelow & Pargetter, 1988, p. 298)

En effet, il s'agit maintenant de rendre compte (a) du fait que ces objets peuvent plus ou moins différer, c'est-à-dire être plus ou moins proches dans cette grandeur, et (b) de ce que deux objets peuvent différer dans une grandeur M (la Masse) à un degré identique à celui auquel elles (ou d'autres) diffèrent

dans une autre grandeur E (disons, l'Énergie). (a) exprime dans un langage naturel le fait que les magnitudes ont entre elles des relations d'ordre, et (b) le fait qu'elles entrent dans des relations de proportion. C'est avec ces deux points que nous entrons dans l'analyse de ce qu'une propriété a de proprement quantitatif, et que le passage à une théorie relationnel s'avère avantageux. Pour cela, ils ajoutent aux relations déterminées comme « être 5 fois plus massif que », « être 6 fois plus massif que » et « être 100 fois plus massif que », des relations de proportions qui valent entre ces relations de masse :

> Ces relations déterminées peuvent alors être groupées, selon qu'elles sont ou non en relation de proportion entre elles. Toutes les relations de masse se tiennent dans des proportions entre elles ; toutes les relations de volume aussi ; mais les relations de masse ne sont pas en relations de proportions avec les relations de volume, et inversement. Par conséquent, les relations de proportion rangent les relations déterminées en classes d'équivalence. A l'intérieur de chacune de ces classes, les relations de proportions vont aussi imposer un ordre. Et c'est cet ordre qui explique comment un objet peut être plus proche, disons en masse, d'un second que d'un troisième. (Bigelow & Pargetter, 1988, p. 299)

C'est cet ordre de proportions qui permet, par le choix d'un objet étalon, d'établir un ordre entre les magnitudes elles-mêmes, c'est-à-dire une échelle de mesure (*scale of measurement*). En effet, en prenant un objet pour étalon, par exemple le kilogramme étalon, alors tous les autres objets massifs se tiennent dans des relations déterminées de masse avec lui. Certains sont dans la relation « avoir la même masse que », d'autre « être deux fois plus massif que », d'autres « être π fois plus massif que », etc. On identifie alors le nombre 1 à la relation de proportion 1:1 que la relation « avoir la même masse que » a avec elle-même. Donc tous les objets qui ont cette relation à l'étalon (dont l'étalon lui-même) se voient attribuer le nombre 1, et l'on peut représenter leur masse par le symbole « 1 kg ». On identifie le nombre 2 à la relation de proportion 2:1 entre la relation de masse « être 2 fois plus massif que » et la relation de masse « avoir la même masse que », donc tous les objets qui sont deux fois plus massifs que l'étalon se voient attribuer le nombre 2, et la mesure « 2 kg », et ainsi de suite.

Les avantages d'une théorie relationnelle sont importants, et il faudra se demander si la théorie adverse en procure d'aussi grands. Premièrement, l'analyse des magnitudes comme des faisceaux de relations déterminées permet de rendre compte de leur structure quantitative, c'est-à-dire leur ordre et proportions. Plus précisément, la proposition de Bigelow et Pargetter revient à définir ontologiquement une quantité comme un ensemble de relations (de masse) déterminées qui présentent une structure d'ordre et de proportion. Comme ils le disent modestement, cette théorie relationnelle « aide à expliquer l'utilité des nombres quand on s'occupe de quantités » (p. 300). Nous verrons dans le prochain chapitre que cela permet de fonder le fait que différents systèmes de représentation métrique (qui correspondent à des choix conventionnels d'unité et d'échelle) capturent tous la même structure quantitative.

Deuxièmement, cette structure d'ordre et de proportion permet de fonder le fait que les différentes magnitudes qui entrent dans ces relations de proportion sont toutes des instances de la *même* quantité (déterminable). Elles le sont parce qu'elles instancient toutes les mêmes relations de quantité (avec des *relata* différents). Ensuite, les relations de quantité déterminées sont toutes des instances de la même propriété (« être des relations déterminées de la quantité M ») parce qu'elles sont en relations de proportion entre elles. Autrement dit, et c'est un point crucial pour la suite, les relations de proportion jouent le rôle essentiel de regrouper différentes relations déterminées comme des relations entre déterminations de la *même* grandeur déterminable :

> En optant pour la théorie relationnelle, et postulant que, pour un objet, avoir une propriété déterminée revient en fait à se tenir dans un ensemble déterminé de relations à d'autres objets, nous préservons ainsi l'analyse de second ordre des propriétés déterminables, tout en rendant maintenant compte des relations d'ordre que les objets semblent avoir entre eux. Et en passant enfin à la théorie à trois niveaux, où les relations pertinentes entre les objets sont elles-mêmes reliées par des proportions, nous pouvons expliquer non seulement l'ordre des objets, mais surtout, toutes les relations logiques qui valent entre les propriétés déterminées. (Bigelow & Pargetter, 1988, p. 302)

D'après la théorie relationnelle, pour un objet massif, avoir une magnitude déterminée de la masse revient à se tenir dans un faisceau de relations à d'autres objets massifs. Sur ce seul fait (1), surviennent les deux autres faits caractéristiques des structures de détermination : (2) ces relations sont toutes des relations dans la même grandeur (par exemple la Masse) parce qu'elles sont regroupées par des relations de proportion, et (3) ces objets sont tous massifs parce qu'ils se tiennent entre eux dans des relations dans cette grandeur. Passons maintenant à la théorie concurrente, due à la collaboration d'Armstrong et de Forrest.

2.1.2. La théorie substantialiste d'Armstrong-Forrest.

Armstrong admet avec Bigelow et Pargetter des propriétés qui sont purement relationnelles, et donc irréductibles à des propriétés monadiques, comme « être à l'Est de ». Mais il refuse que ce soit le cas, en dernière analyse, des propriétés quantitative. Pour le montrer, il propose de distinguer entre les aspects *ordinaux* et les aspects *métriques* de la plupart des quantités, et pour lui seuls les seconds sont véritablement quantitatifs. Il montre ensuite que les aspects ordinaux sont irréductiblement relationnels, tandis que les aspects métriques peuvent être analysés comme des propriétés intrinsèques. Regardons cela en détail.

2.1.2.1.La distinction de l'ordinal et du métrique.

Selon Armstrong, les relations d'ordre sont effectivement irréductibles aux propriétés *intrinsèques* des objets ordonnés. Par exemple, la relation par laquelle Strasbourg « est à l'est de » Paris est externe puisque rien, dans les caractéristiques intrinsèques de ses *relata* ne rend nécessaire la survenance de cet ordre plutôt que d'un autre (il faut certainement supposer, pour cela, que les deux positions spatiales ne sont pas causalement reliés), car on peut concevoir que les deux villes soient les mêmes (par toutes leurs caractéristiques intrinsèques) dans un monde possible où c'est Paris qui est à l'est de Strasbourg. Autrement dit, la relation d'ordre dans l'espace comme « être à l'est de » ajoute un fait relationnel (un état de choses polyadique) à ce que sont intrinsèquement les *relata* : « Strasbourg étant à l'est de Paris ». La relation n'est pas interne signifie que ce fait relationnel n'est pas le cas dès que Paris et Strasbourg existent et sont ce qu'elles sont. Il faut, pour qu'il soit le cas, que s'ajoutent des faits comme « Strasbourg occupant la position a dans l'espace » et « Paris occupant la position b » dans l'espace, avec la relation « être à l'Est de » interne entre les positions spatiales a et b.

Armstrong admet donc toute la théorie relationnelle de la détermination dans le cas des positions dans un ordre (comme l'ordre spatial, temporel, etc.). Mais il ajoute que dans ces cas, où la théorie relationnelle est correcte, les relations ne sont pas internes aux objets qu'elles relient, mais ont besoin pour survenir de l'ajout de faits relationnels contingents, comme le fait qu'un objet occupe telle position dans cet ordre plutôt que telle autre. Par conséquent, l'ordre interne entre les déterminations relationnelles (les positions dans cet ordre) ne fonde pas de façon suffisante un ordre déterminé entre objets, contrairement à ce qu'affirment Bigelow et Pargetter.

Mais surtout, un ensemble de déterminations ordonnées ne sont pas comme telles des déterminations quantitatives. Un ordre seul n'a, selon Armstrong, rien de quantitatif. On ne parle de déterminations quantitatives que si l'ordre survient sur des aspects métriques. Or, contrairement aux aspects ordinaux, les aspects métriques ne sont pas déterminés relationnellement mais sont, eux, bel et bien fondés sur la nature intrinsèque des *relata*. Voici comment Armstrong introduit cet argument :

> Les événements ponctuels a, b et c sont dans un ordre temporal, avec a antérieur à b et b antérieur à c. Ceci est un fait ordinal, la relation « antérieur à » est externe, et les quantités ne sont pas impliquées. Mais supposons maintenant que a est de fois plus antérieur à b que b ne l'est à c. Il semble naturel de penser que l'intervalle de temps de a à b a une certaine durée, et de tenir la durée pour une propriété non-relationnelle de cet intervalle. Il en va de même pour l'intervalle de b à c. Ces intervalles sont dans une certaine relation, la proportion 2:1. Cette relation est interne, et fondée sur la nature intrinsèque des deux intervalles. (Armstrong, 1988, p. 310)

Selon Armstrong, quand des quantités sont impliquées, les objets ont des propriétés métriques qui ne sont pas relationnelles, mais d'où découlent nécessairement un certain nombre de relations quantitatives (proportions et ordre). Une fois qu'on a mis de côté les situations où les relations d'ordre sont totalement externes et n'impliquent en réalité rien de quantitatif, Armstrong tient pour caractéristique d'un ordre *quantitatif* le fait que les aspects ordinaux surviennent sur des aspects métriques : les relations d'ordre et de proportion surviennent alors sur des propriétés monadiques des objets. On commence à concevoir ce que doivent être ces propriétés monadiques pour déterminer de façon intrinsèque une magnitude : elles doivent faire des aspects métriques des caractéristiques intrinsèques et non-relationnelles des objets. Les exemples choisis par Armstrong sont suffisamment parlants : dans l'espace, le fait qu'un objet soit dans une situation déterminée relativement à un autre objet est un fait purement relationnel, au sens où c'est sa position dans cet ordre qui est déterminée par les relations qu'elle a avec toutes les autres positions de cet ordre, alors que rien dans cet objet ne le détermine à occuper cette position ; en revanche, la longueur d'un intervalle spatial est un aspect (métrique) absolument intrinsèque de cet intervalle, et donc les relations d'ordre et de proportions entre les intervalles d'espace, par lesquelles l'intervalle I est « deux fois plus grand » que l'intervalle J, sont internes. Il reste alors à Armstrong à proposer sa vision des propriétés quantitatives monadiques, pour expliquer comment elles fondent une détermination intrinsèque de ces faits métriques.

Mais avant d'y venir, nous devons signaler que par sa proposition, Armstrong prend le contrepied de l'approche reçue du rapport entre les aspects métriques et les aspects ordinaux. En général, dans la description mathématique d'une structure abstraite, comme une variété R^4 d'espace-temps, on considère que la métrique s'ajoute, comme une *structure supplémentaire*, à une structure ordinale sous-jacente. Par conséquent il semble bien que les relations d'ordre soient impliquées par les relations métriques, mais au sens où une structure plus riche en implique une moins riche. Comme nous le verrons amplement dans le prochain chapitre sur la théorie de la mesure, les aspects métriques des déterminations quantitatives sont ordinairement conçus comme construits par des relations (relation de sommation, par exemple) qui s'ajoutent aux relations d'ordre. Or chez Armstrong, ces aspects métriques sont conçus comme intrinsèques aux objets et comme la fondation ontologique de toutes les relations quantitatives dans lesquelles les objets peuvent entrer.

En faisant cela, Armstrong écarte toute approche relationnelle et structurelle de la détermination quantitative pour revenir sciemment à une conception classique de la quantité comme quantité absolue de quelque chose. Comme un panier de 19 crabes a pour caractéristique intrinsèque cet aspect métrique, la quantité absolue de crabes qu'il contient, un objet possèderait une taille ou une masse déterminées comme une quantité absolue de quelque chose. En rompant complètement avec l'approche relationnelle des déterminations quantitatives, et en concevant les aspects métriques comme intrinsèques, Armstrong fait de la quantité possédée par un objet une propriété qui est *déjà, en soi, mesurée*. Pour un objet, posséder une quantité est à prendre en un sens absolu : c'est être un certain nombre déterminé et absolu

de ‘quelque chose’. C’est pourquoi nous allons appeler cette théorie de la détermination quantitative intrinsèque une théorie *substantialiste* des déterminations quantitatives. Contrairement à la thèse relationnelle, pour qui une magnitude n’est une quantité déterminée que par ses relations précises aux autres magnitudes, une théorie substantialiste considère qu’une magnitude est intrinsèquement une certaine quantité de quelque chose de substantiel : un intervalle d’espace possède une certaine quantité déterminée de distance, une masse déterminée est une certaine quantité de matière massive, etc. Mais comment comprendre ce que signifie, ontologiquement, d’être une quantité déterminée de quelque chose ?

2.1.2.2.La théorie des nombres d’Armstrong-Forrest.

Il nous faut entrer dans la théorie propre à Armstrong des déterminations quantitatives et des nombres, qu’il développe avec Peter Forrest. D’après eux, une détermination quantitative n’est pas une place dans une structure relationnelle, mais une propriété monadique *structurelle* (Armstrong & Forrest, 1987). C’est une propriété monadique, car la détermination quantitative consiste de façon intrinsèque en une certaine quantité de quelque chose. Le terme « structurel » est à comprendre dans un tout autre sens que celui de la théorie relationnelle des déterminations quantitatives. Il ne renvoie pas à une structure de relations dont les déterminations quantitatives ne seraient que les places, mais à la théorie des universaux structurels. Par exemple, un objet possède la propriété « avoir une masse de 5 kg » en l’absence de tout autre objet dans le monde (et donc sans entretenir de relation avec d’autres objets), car elle consiste en sa structure interne complexe. Pour le comprendre précisément dans le cas des quantités continues comme la masse, il est préférable d’en passer d’abord par le cas des quantités discrètes.

Le cas des quantités discrètes.

Prenons pour exemple le nombre d’électrons dans un agrégat de 19 électrons. L’aspect métrique est ici désigné par le nombre 19, et cet agrégat possède la propriété quantitative « être un agrégat de 19 électrons ». Or une telle propriété agrégative est ce qu’Armstrong appelle une propriété structurelle, définie récursivement :

(i) « être un agrégat d’1 électron » est simplement la propriété « être un électron »[59] *;*
(ii) être un agrégat de n+1 parties distinctes qui sont des électrons » est définie comme le fait d’être la somme de deux parties distinctes dont l’une a la propriété « être un agrégat de n parties distinctes qui sont des électrons » et l’autre a la propriété unitaire « être un électron ».

[59] On reconnaît ici très précisément les universaux de particularisation déjà évoqués dans le chapitre I, section 3.

Le plus intéressant dans cette théorie d'Armstrong est que la structuration de l'agrégat est relative à la propriété de particularisation (ou type d'états de choses) « être un électron »[60]. Cette propriété, Armstrong et Forrest l'appellent plus loin « propriété unitaire » (*unit property*), car elle découpe l'agrégat dans des parties propres, non superposées, qui sont susceptibles d'être comptées (« *carves up* », « *acts as a cookie-cutter* », p181). Armstrong et Forrest remarquent enfin qu'il existe une relation interne I_{19} être la propriété structurelle S « être un agrégat de 19 électrons » et la propriété de particularisation U « être un électron ». C'est une relation de « nombre d'électrons », en ce sens que S est « 19 fois plus nombreuses en électrons » que U. Armstrong et Forrest identifient directement le nombre 19 à cette relation I_{19} entre S et U.

Cette identification du nombre à la relation I_{19} est un raccourci par rapport à la théorie des nombres comme relations de proportions de Frege, dont Armstrong et Forrest s'inspirent comme Bigelow et Pargetter. En effet, si nous suivions précisément cette théorie, la relation I_{19} ne peut pas être identifiée directement au nombre 19, car elle n'est pas une relation de proportion mais une relation de nombres d'électrons : « être 19 fois plus nombreux en électrons que » (comme nous avions plus haut des relations de masses « être deux fois plus massif que »). La propriété unitaire U « être un électron » a la relation « avoir le même nombre d'électrons » avec elle-même. Ensuite seulement, on remarque une relation de proportion 19:1 entre ces deux relations de « nombres d'électrons », et c'est d'abord seulement à cette proportion que nous pouvons identifier le nombre 19. Ce n'est que dans un second temps, après avoir choisi de prendre les instanciations de la propriété « être un électron » pour unités de compte que la relation « avoir le même nombre d'électrons » permet au nombre « 1 » de désigner toutes les instances de U, et que la relation « avoir 19 fois plus d'électrons que » permet au nombre « 19 » de désigner les agrégats de 19 électrons. Ce n'est donc qu'indirectement, après la détermination d'une unité de compte, que le nombre « 19 » peut être pris pour désigner la relation qu'un objet instanciant la propriété structurale S a avec la propriété unitaire U.

Mais a-t-on besoin de prendre la précaution de distinguer ces deux étapes, dans le cas des quantités discrètes ? La différence entre les quantités discrètes et les quantités continues n'est-elle pas que l'unité n'est arbitraire que dans le cas des secondes ? Nous ne pouvons pas encore répondre à cette question, qui sera tranchée dans le chapitre sur la mesure. Néanmoins, il est clair qu'Armstrong et Forrest s'appuient sur une intuition de ce genre : la propriété unitaire « être un électron » semble manifestement jouir d'un fondement ontologique plus grand que la propriété « être un mètre » ou « être un kilogramme », dans la mesure où chaque électron particulier a une individualité qui pourrait lui garantir son statut d'unité de compte. La thèse est contestable, et nous la critiquerons plus loin. Retenons

[60] Cette théorie des universaux structuraux a été fortement critiquée par Lewis, *cf* section 2.2.4. Notons simplement que l'une de ses critiques porte précisément que le fait que la structuration ne peut pas être entièrement relative à l'identification de la propriété de particularisation, car autre chose entre en jeu, comme l'ordre de composition de parties de la structure.

ici simplement que dans la théorie d'Armstrong et Forrest, le nombre est donc un universel relationnel, qui est instancié entre la propriété structurale et ses parties élémentaires unitaires.

Le cas des quantités continues.

Tout l'intérêt de leur théorie, tel qu'ils le soulignent, est d'offrir une analyse *unifiée* des nombres, qu'il s'agisse de nombres naturels (utilisés pour compter des quantités discrètes) ou des nombres rationnels et réels. Or cette théorie unifiée des nombres nous intéresse ici particulièrement, puisqu'elle permet de transposer aisément leur analyse des quantités discrètes au cas des continues :

> Cette analyse s'étend maintenant au cas où N n'est pas un nombre naturel. Alors, « avoir une masse de 5 kg » est avec « avoir une masse de 2 kg » dans la relation interne I2:5. Et « être de longueur 4π cm » est dans la relation interne I2π avec « être de longueur 2 cm ». Même les nombres négatifs et complexes peuvent être inclus dans l'analyse. Car toutes les magnitudes ne sont pas extensives, et certaines magnitudes intensives admettent des degrés négatifs ou complexes. Prenez la charge électrique. « Avoir une charge de 8 Coulomb » est dans la relation I-1 avec « avoir une charge de -8 Coulomb ». De cette façon, tous les nombres, et non seulement les naturels, sont présentés comme des relations internes entre propriétés. (Armstrong & Forrest, 1987, p. 177)

En vertu de sa définition unifiée du nombre, qu'il soit entier naturel ou bien réel, comme relation interne entre propriétés structurales, Armstrong est maintenant en mesure de nous fournir une analyse cohérente des déterminations quantitatives pour les quantités continues, qui prennent des valeurs réelles. A quoi correspond, ontologiquement, la détermination quantitative d'un objet qui « a une masse de 5 kg » ? L'analyse que propose Armstrong est une généralisation de celle qui valait au-dessus pour les quantités discrètes. « Avoir une masse de 5 kg » s'analyse comme une propriété structurale attachée à un agrégat. La détermination quantitative se présente donc encore comme la propriété numérique interne d'un agrégat. En reprenant trait pour trait l'analyse faite au-dessus des propriétés quantitatives discrètes, on doit alors comprendre que l'agrégat est structuré en parties de 1kg avant une relation (un nombre) avec la propriété agrégative. Ce qu'il y a de proprement quantitatif dans la détermination quantitative « être une masse de 5 kg », c'est sa relation numérique interne I_5 avec l'universel de particularisation « être une masse de 1 kg ».

Voyons enfin si la théorie d'Armstrong répond aux exigences qui se posent à toute théorie des quantités, de rendre compte de la structure de détermination. Comment permet-elle de fonder le fait qu'une détermination quantitative est une détermination différente de la même grandeur ? Il est clair que deux déterminations sont aisément conçues comme quantitativement différentes dans le cadre de cette théorie : elles sont différentes dans la mesure où elles ont des relations numériques internes I_N différentes avec d'autres propriétés. Ainsi, « être un agrégat de 19 électrons » a la relation I_{19} avec « être

un électron », tandis que « être un agrégat de 8 électrons » a la relation I_8 avec la même propriété unitaire. Cette différence de relations numériques rend bien compte de la différence quantitative entre ces deux déterminations.

Mais comment Armstrong peut-il rendre compte du fait que, malgré cette différence, ces deux déterminations quantitatives sont des déterminations de la même grandeur ? Montrons-le dans le cas des grandeurs discrètes. Pourquoi « être un agrégat de 19 électrons » et « être un agrégat de 8 électrons » sont-elles des déterminations de la même grandeur, la quantité d'électrons ? Que signifie ontologiquement qu'elles soient deux quantités différentes de la même chose, des électrons ? Une réponse simple s'avance : parce qu'elles sont les deux en relations numériques internes avec la même propriété unitaire, « être un électron ». De façon générale, la théorie substantialiste à la Armstrong répondra que deux propriétés quantitatives sont des déterminations de la même grandeur lorsqu'elles sont deux quantités numériquement déterminées du même « quelque chose », de la même substance. Toute notre critique de la théorie substantialiste consistera à montrer que cette solution, qui a l'air si évidente quand on la présente dans le cas des grandeurs discrètes comme la quantité d'électrons, ne fonctionne pas dans le cas général des grandeurs continues.

2.2.Arguments.

Tournons-nous maintenant vers les arguments existants en faveur de l'une ou l'autre de ces deux positions. Nous commençons par exposer les arguments de Bigelow et Pargetter (2.2.1.), qui nous apparaîtront peu concluants. Puis nous exposerons les critiques adressées par Armstrong à leur théorie relationnelle (2.2.2.). Ensuite, nous formulerons nous-mêmes des critiques contre la théorie monadique d'Armstrong en nous inspirant des travaux d'Eddon (2.2.3.), que nous essaierons ensuite de généraliser à toute théorie substantialiste des déterminations quantitatives, afin de donner un argument définitif en faveur d'une approche relationnelle (2.2.4.). Pourtant, nous relancerons le problème en apportant un dernier argument, dû à Swoyer, en faveur d'une théorie substantialiste (2.2.5.). Cette discussion nous permettra de présenter, dans la section suivante, la théorie DVQ comme une solution à tous les problèmes rencontrés.

2.2.1. Les déterminations quantitatives sont-elles relationnelles ?

Venons-en maintenant directement aux arguments par lesquels Bigelow et Pargetter justifient le passage à une analyse relationnelle des déterminations quantitatives. Il s'agit de rendre compte du fait que les quantités engendrent des relations entre les particuliers qui possèdent ces quantités. Prenons comme exemple le cas de la taille et de la relation « être plus grand que » qui est le cas entre Goliath et David. Armstrong pense qu'elle est interne et survient automatiquement sur les tailles particulières de

David et Goliath. Au contraire, Bigelow et Pargetter affirment que ces tailles particulières déterminées sont relationnelles : « il est plausible qu'avoir une certaine taille ne soit rien d'autre qu'être plus grand que certaines choses, et plus petit que d'autres » (p. 295).

Quels sont leurs arguments pour défendre cette position ? En premier lieu, ils demandent si le fait de présenter les tailles comme des propriétés intrinsèques, sur lesquelles surviendrait la relation d'ordre, n'est pas qu'une manière de parler qui cache ce en quoi consiste réellement les propriétés de taille. Il demeure plausible, affirment-ils, que le fait d'avoir une taille déterminée ne soit rien d'autre qu'entrer dans un système de relations de taille avec tous les autres objets. Mais dans la mesure où Armstrong affirme que, tout aussi plausiblement, la taille est une propriété intrinsèque d'un corps, cette raison ne peut pas être décisive.

Leur second argument est plus fort. Si les tailles des objets étaient véritablement des propriétés intrinsèques de ces objets, comme le pense Armstrong, comment pourraient-elles fonder des relations entre ces objets ? Bigelow et Pargetter raisonnent sur l'exemple des positions géographiques et de la relation « être à l'Est de ». En vertu de quoi Strasbourg est à l'est de Paris ? De leur position spatiale respective, qui seraient des déterminations intrinsèques. Mais en quoi la position spatiale de Strasbourg et celle de Paris ensemble entrainent-elles la relation spatiale voulue entre les deux villes, si l'on ne présuppose pas déjà que cette relation vaut entre leurs positions ? Comme ils l'écrivent, « en utilisant les positions de [Strasbourg] et de [Paris], pour fonder leur relations spatiales, on présuppose l'existence de relations spatiales entre leurs positions » (p. 295).

Mais on peut douter du caractère intrinsèque d'une position spatiale, et soupçonner Bigelow et Pargetter d'avoir sciemment pris un exemple de propriété relationnelle. Comme nous l'avons dit en 2.1.2., Armstrong admet qu'il y a des propriétés relationnelles, comme les positions spatiales. C'est pourquoi ils étendent ensuite leur analyse à des quantités qui semblent beaucoup plus intrinsèques comme la taille. La relation « plus grand que » survient-elle entre David et Goliath en raison de la taille de David et celle de Goliath, comme le pense Armstrong ? Pour cela il faut selon eux présupposer que la taille de David a déjà cette relation avec la taille de Goliath. Mais pourquoi une relation quantitative ne peut-elle pas survenir sur des propriétés non-relationnelles ? En le mettant en doute, Bigelow et Pargetter remettent en cause une des choses qu'Armstrong tient pour la mieux établie, par exemple que Goliath étant donné sa taille est « plus grand que » David étant donné sa taille. Pour Armstrong, cette relation doit être interne parce qu'elle suit automatiquement de ce que sont ces tailles distinctes. Pour Bigelow et Pargetter, pour que la relation « être plus grand que » surviennent automatiquement sur la taille de Goliath et la taille de David, il *faut* que ces deux propriétés soient déjà *intrinsèquement reliées*, c'est-à-dire qu'elles soient elles-mêmes relationnelles : « les relations sont inévitables. Elles ne peuvent pas être fondées sur les seules propriétés » (p. 295). D'après cet argument, il serait donc nécessaire de considérer les déterminations quantitatives comme étant relationnellement constituées et déterminées pour que les objets qui les présentent soient dans ces mêmes relations.

Mais Bigelow et Pargetter n'expliquent pas vraiment pourquoi « il faut » qu'il en soit ainsi, et il est étonnant de les voir affirmer une implication qu'Armstrong n'a ensuite aucun mal à nier : c'est en vertu de leurs tailles respectives que Goliath est plus grand que David, et on ne voit pas pourquoi ces tailles devraient être intrinsèquement relationnelles pour être ordonnées ou en relations de proportion. Pour eux, les tailles de Goliath et de David ne sont déterminées qu'en tant que places dans une structure de relations de taille. La détermination quantitative « taille de David » ne consisterait alors qu'en un faisceau de relations avec toutes les autres déterminations quantitatives de la Taille. Mais à part répéter ainsi le cœur de la théorie relationnelle, les arguments de Bigelow et Pargetter ne nous semblent donc pas concluants *contre* l'analyse monadique des magnitudes. L'opposition sur la nature des magnitudes comme déterminations quantitatives semble donc irréductible : leur situation dans une structure de relations (ordre et proportions) est-elle ce qui les détermine, comme le pense la théorie relationnelle, ou bien survient-elle sur ce qu'elles sont intrinsèquement, comme le pense la théorie monadique d'Armstrong ? Passons maintenant aux arguments par lesquels Armstrong rejette la théorie relationnelle.

2.2.2. Trois critiques par Armstrong de la théorie relationnelle.

(Armstrong, 1988) a formulé une série de trois critiques de la théorie relationnelle, afin de lui opposer sa théorie des magnitudes comme des propriétés monadiques.

2.2.2.1.Première critique.

En premier lieu, on peut interroger le rapport entre les relations déterminées (de masse, par exemple) et les relations de proportion. En vertu de quoi les relations « avoir la même masse que » et « avoir une masse 2 fois supérieure à » se tiendraient-elles dans une proportion 2:1 ? Comment comprendre que les relations de proportions regroupent et classent les relations déterminées ? Pour introduire sa première critique, Armstrong avance que les relations de proportions doivent être internes et survenir sur les relations de masse. Il reproche alors à Bigelow et Pargetter d'avoir inversé ce rapport de fondation :

> Étant donné les deux termes « être à 2 km de » et « être à 1 km de », leur proportion 2:1 est le cas dans tous les mondes possibles. La relation de proportion est interne à ces termes. Mais s'il en est ainsi, alors nous semblons devoir expliquer que la relation « *topic-neutral* » de proportion soit le cas en faisant appel à ses termes, et non l'inverse. C'est à partir de ces termes – qui eux-mêmes sont des relations, comme le disent nos auteurs – que les quantités déterminées se rangent dans des classes d'équivalence, et que

> s'impose un ordre entre ces classes. Comme le dirait un Marxiste, Bigelow et Pargetter essaient d'expliquer la base par la superstructure. (Armstrong, 1988, p. 307)

Pourtant, Bigelow et Pargetter ne disent nulle part que chaque relation de masse, qui peut valoir entre plusieurs paires d'objets, n'est elle-même rien d'autre qu'un faisceau de relations de proportion avec les autres relations de masse. Ils affirment seulement qu'elles ont ces relations de proportions, qui les regroupent comme relations déterminées de la même grandeur, comme la Masse, mais jamais que les relations de masses sont ce qu'elles sont en vertu des proportions qui les relient. La première critique d'Armstrong semble donc porter sur une hypothèse concernant la nature des relations quantitatives (de masse, de charge, etc.) qui n'est pas celle de Bigelow et Pargetter, et surtout, qui n'est peut-être pas essentielle à la théorie relationnelle.

2.2.2.2.Deuxième critique.

C'est surtout contre l'analyse des magnitudes comme des relations que les critiques d'Armstrong sont portées. Pour Bigelow et Pargetter, c'est parce que les objets se tiennent dans des relations de masse les uns avec les autres que des magnitudes de masse peuvent leur être accordées. Mais dans ce cas dit Armstrong, on ne peut pas expliquer pourquoi les objets qui ont la même masse (la même magnitude) sont dans la classe des objets qui ont la relation « avoir la même masse que » les uns avec les autres :

> Supposons avec Bigelow et Pargetter que les relations de masses, et toutes les autres relations de cette sorte, sont externes. Les objets individuels se tiennent les uns vis-à-vis des autres dans un nombre indéfini de relations externes, comme « être deux fois plus massif que », relations qui nous autorisent à assigner des masses particulières à ces objets. Concentrons-nous d'abord sur une masse particulière, disons 1 kilogramme. En prenant les objets individuels qui font cette masse, ils forment donc une classe d'équivalence. Chaque individu de la classe aura la relation « avoir la même masse que » avec tout autre membre de cette classe, relation qui est symétrique et transitive. Mais on pourra alors naturellement demander pourquoi ces choses se regroupent si favorablement (*so conveniently*) par elles-mêmes ? Il existe une réponse évidente à cette question. C'est que chaque individu instancie le même universel monadique. La symétrie et la transitivité dériveront alors de l'identité, et surviendront sur elle. Mais cette réponse n'est pas possible, si la relation « avoir la même masse que » est externe. (Armstrong, 1988, p. 308)

Suivant Armstrong, considérons la classe des objets qui se tiennent tous dans la relation « avoir une masse x fois supérieure à » un autre objet. Si cet objet est l'étalon, le kilogramme, et qu'on considère la relation de masse déterminée par $x = 1$, alors nous avons la classe de tous les objets qui font 1 kg. On

peut se demander en vertu de quoi tous ces objets ont cette relation avec l'étalon. Cela revient bien à se demander quel est le fondement ontologique de cette relation. Or la réponse dépend du statut, interne ou externe, de cette relation de masse. Si la relation est interne, comme le pense Armstrong, elle découle nécessairement de ce que sont les *relata*, c'est-à-dire les objets massifs *dotés de masses déterminées*. Mais c'est précisément ce que refusent Bigelow et Pargetter, si pour eux être doté d'une masse déterminée n'est rien d'autre qu'avoir certaines relations déterminées de masse. En revanche, si la relation « avoir une masse *x* fois supérieure à » est externe, alors le fait que ces divers objets massifs se tiennent tous dans cette relation apparaît sans fondement. C'est pourquoi selon Armstrong les relations de masses doivent survenir de façon interne sur *ce que sont* les objets massifs, c'est-à-dire leurs propriétés intrinsèques.

Or, dans ce cas, les relations de masse surviennent non pas sur les objets massifs, mais sur leurs masses déterminées (ou plutôt sur les états de choses comme 'ces objets ayant telle masse déterminée'). On voit à cela qu'Armstrong déforme la théorie de Bigelow et Pargetter, chez qui il n'y a pas de distinction à faire entre les déterminations quantitatives (ici, les masses déterminées) et les faisceaux de relations de masse. Chez eux, les masses déterminées *sont* des faisceaux de relations, et donc ne sont pas des entités préalables qui entrent ensuite dans ces relations externes. Donc les relations surviennent sur les propriétés en un sens trivial, puisque ces propriétés *sont* ces relations. Les particuliers qui ont une masse d'1 kg se regroupent ensemble si favorablement (*so conveniently*) simplement parce qu'avoir cette masse déterminée consiste en ce fait relationnel. Poser la question que pose Armstrong revient donc à se demander pourquoi les particuliers ont les masses qu'ils ont, à quoi ni Armstrong, ni aucun théoricien des quantités, n'a à répondre.

En revanche, quelque chose de la critique d'Armstrong doit être sauvé. Une large partie de la question posée concerne le fondement de la *vérité* du classement des particuliers massifs. Quel est le vérifacteur de l'attribution à toutes ces paires de particuliers qui ont la même masse de la relation « avoir la même masse que » ? Si l'on se réfère aux travaux d'Armstrong sur les vérifacteurs des relations (Armstrong, 2004), une relation est interne lorsque son vérifacteur n'est rien d'autre que les faits mis en relation, c'est-à-dire ici les états de choses massifs eux-mêmes. En revanche, si une relation est attribuée à la paire (objet ayant la masse 1, objet ayant la masse 2) et qu'elle est externe, alors elle est rendue vraie par un fait relationnel (un « état de choses polyadique ») irréductible aux objets appariés. Il est le fait dyadique que ces deux objets se tiennent dans cette relation. L'argument d'Armstrong fonctionne donc bien contre une analyse qui ferait des relations entre déterminations quantitatives des relations externes, et nous aurons besoin de reprendre cet argument plus bas. Par conséquent la critique d'Armstrong semble admissible si elle est dirigée contre l'admission de faits relationnels externes comme vérifacteurs des attributions des quantités aux particuliers. Mais Bigelow et Pargetter ne sont pas touchés, puisque chez eux les états de choses « ce particulier ayant cette détermination quantitative » sont relationnels de façon interne.

2.2.2.3.Troisième Critique.

La troisième critique d'Armstrong est donc naturellement dirigée contre ces faits relationnels, et produit deux arguments contre l'analyse des relations quantitatives entre objets particuliers comme des faits relationnels.

En premier lieu, nous admettons comme possible un univers où il n'y aurait qu'un seul objet massif, qui pèse 1kg. Comme cet objet est seul, il n'existe aucun autre objet massif, et donc aucun état de choses relationnel dans lequel cet objet aurait la même masse, ou une masse *x* fois supérieure à celle d'un autre objet. Cet objet massif n'aurait-il pas néanmoins la masse déterminée qui est la sienne ? Armstrong pense que c'est le cas, comme nous serions prêts aussi de l'admettre. Or c'est impossible dans la théorie de Bigelow et Pargetter, ce qui doit leur poser un grave problème.

Imaginons en second lieu un univers dont la masse totale est finie, ce qui est à nouveau très plausible. Comme cet objet massif n'est en relation de masse avec aucun autre objet, un tenant de la théorie relationnelle se rendrait incapable de lui attribuer la masse déterminée qu'il a pourtant. Par conséquent, la magnitude de masse d'un objet massif ne peut pas consister en un faisceau de relations à toutes les autres magnitudes des autres objets massifs. Cette troisième critique occupe une place centrale dans l'affrontement entre théories relationnelle et monadique des quantités, et porte un coup puissant à la théorie relationnelle, qui ne peut apparemment pas accorder une magnitude à un seul objet sans postuler d'autres objets reliés avec le premier. Lorsque nous montrerons quelle réponse notre théorie DVQ apporte aux questions d'analyse de la quantité, nous verrons si elle permet aussi de répondre à cette critique. Passons maintenant aux critiques que nous pouvons formuler contre la théorie substantialiste d'Armstrong.

2.2.3. Trois critiques de la théorie substantialiste.

Toutes les difficultés rencontrées par l'analyse monadique d'Armstrong viennent, selon nous, du fait que sa théorie, qui semble adéquate pour analyser les déterminations quantités discrètes, ne fonctionne pas quand on la transpose au cas des quantités continues. On se rappelle que la théorie monadique affirme qu'une détermination quantitative est une propriété structurale qui est constituée par un certain nombre de propriétés unitaires plus simples, comme « être un agrégat de 19 électrons » est composé de 19 propriétés unitaires « être un électron ». Des déterminations quantitatives différentes de la même grandeur sont des nombres différents de la même propriété unitaire. La propriété unitaire désigne ainsi la substance qui est quantitativement déterminée, le « ce en quoi on compte » (comme ici en électrons).

2.2.3.1.Les trois problèmes posés par la théorie d'Armstrong.

La théorie d'Armstrong implique l'existence d'une propriété unitaire unique, comme « être un électron » pour la détermination de la quantité d'électrons, qui désigne une unité de compte bien fondée. Dans la suite, nous appelons « unité naturelle » une telle unité de compte bien fondée, c'est-à-dire à laquelle il ne semble pas conventionnel d'attribuer le nombre « 1 ». Le fait que cette unité (ou que ce qui instancie cette propriété unitaire naturelle) compte pour un dans la détermination d'une grandeur semble être fondé dans la nature de cette unité. On considère, en général, que c'est le caractère d'individualité du particulier qui est pris pour unité qui passe pour fonder le caractère naturel de cette unité. Les électrons sont des unités naturelles pour la détermination de la quantité d'électrons, parce que leurs individualités distinctes fondent leur distinction numérique, qui donne à leur agrégat sa détermination quantitative. Admettons provisoirement ce fondement.

En effet, ce qui distingue les déterminations de grandeurs continues, c'est que les unités (ou les parties de l'agrégat qui instancient l'universel d'unité) semblent être moins naturelles que les électrons individuels ne le sont dans l'agrégat d'électrons. Par exemple, la propriété unitaire « être une masse de 1 kg » semble être arbitraire et exprimer surtout le choix conventionnel du kilogramme comme unité de mesure. Plus précisément, il n'y a apparemment pas d'unique façon de découper l'agrégat en parties naturelles, reconnues parce qu'elles instancient une propriété unitaire bien fondée. « Être une masse de 1 kg » n'est donc pas la seule propriété unitaire possible : le cookie peut être découpé de multiples manières, en des parties propres qui n'ont pas même forcément la même masse. Cela a deux conséquences.

Premièrement, il faut donc généraliser l'analyse de la détermination « être une masse de 5 kg » à toutes les façons de découper l'agrégat qui ne recourent pas à la propriété unitaire « être une masse de 1 kg ». Armstrong doit ajouter toutes les autres façons de découper l'agrégat à l'intérieur de la définition de la détermination quantitative de l'agrégat. La propriété structurelle « être une masse de 5 kg » est définie par l'ensemble de ses relations numériques à *toutes* les propriétés de particularisation instanciées par ses parties, qui peuvent servir d'unités :

> La propriété d'avoir une masse de 2 kilogrammes est (identique à) toutes les propriétés structurelles non-relationnelles formées en prenant toutes les paires, triplets, etc., où la somme des masses des membres de chaque n-uplet est égale à 2 kilogrammes. (Armstrong, 1988, p. 312)

Deuxièmement, c'est là véritablement le point le plus original de la théorie d'Armstrong : une quantité déterminée est, ontologiquement parlant, un *amas* de toutes les quantités inférieures. L'objet qui a une masse de 5 kg doit avoir des parties (cinq) qui ont une masse de 1 kg, et pour que la relation numérique I_5 soit le cas et s'instancie sur des caractéristiques intrinsèques de l'agrégat, il faut que

l'universel de particularisation soit instancié par des parties de l'agrégat. Or, nous venons de voir qu'il y a d'autres propriétés unitaires qui peuvent découper le même agrégat. Il est donc *constitué* d'une foule de parties qui instancient toutes les déterminations quantitatives moindres :

> Pour qu'un individu X ait une masse de 2 kilogrammes, il doit exister un ensemble indénombrable de paires, triplets, etc., d'individus non-chevauchants (*non-overlapping*), tels que dans chaque n-uplets, ces individus ont des masses de moins de 2 kilogrammes et leur somme est l'individu X. […] Ceci pourrait expliquer d'une façon très simple comment il se fait que, si une certaine propriété de masse est instanciée, alors toutes les propriétés de masse inférieures sont automatiquement instanciées, tandis qu'aucune propriété de masse supérieure n'a à l'être. (Armstrong, 1988, p. 312)

Autrement dit, la propriété structurelle « être une masse de 5 kg » possédée par un agrégat n'est pas seulement l'union de cinq propriétés de particularisation « être une masse de 1 kg », mais elle est *actuellement* une infinité d'autres unions, qui unissent des propriétés de particularisation instanciées par des parties non-chevauchantes de l'agrégat : « être une masse de 4 kg » et « être une masse de 1 kg », ou bien cinq mille fois l'instanciation de la propriété « être une masse d'1 g », etc. Or cette analyse pose trois problèmes.

Le premier problème fondamental qu'Armstrong ne résout pas est de rendre compte du fait que les différentes façons de découper et d'agréger les parties de l'agrégat aboutissent au *même* résultat ou plutôt, comme nous ne parlons pas ici de procédure de découpage et d'assemblage effectives, mais de l'ontologie de la propriété unitaire : en vertu de quoi *différentes* structures regroupant un certain nombre de propriétés unitaires différentes sont-elles *la même* propriété structurale ? Le problème est d'expliquer pourquoi l'universel structural constitué par l'union de cinq propriétés unitaires « être une masse d'1 kg » est le *même* que celui constitué, par exemple, par l'union de 11,037 propriétés unitaires « être une masse d'une livre ». Comment fonder le fait que, pour tout objet, la quantité de kilogrammes qu'il instancie est la même que la quantité de livres, c'est-à-dire la même quantité de masse, *sa masse* ? Comment rendre compte du fait qu'une même détermination quantitative ait des constitutions différentes, c'est-à-dire qu'elle soit des quantités d'unités différentes ?

Le second problème concerne le fait que toutes les déterminations quantitatives inférieures doivent être instanciées par des parties propres de l'agrégat. Cela semble bien fonctionner lorsque la propriété S « être une masse de 5 kg » est un multiple entier des déterminations quantitatives qui peuvent servir de propriété unitaire : « être un kilogramme », « être un gramme », etc. Mais on doit aussi pouvoir envisager un changement d'unité, et parler de la masse en livres plutôt qu'en grammes ou kilogrammes. « Être un kilogramme » n'a aucune raison d'être une propriété unitaire plus naturelle que « être une livre ». La propriété quantitative de notre objet devrait alors s'analyser comme l'union de 11,0375 parties qui instancient la propriété « être une masse d'une livre ». Mais que signifie de dire que l'agrégat

est composé de 11,0375 parties ? La notion d'une partie non-entière semble obscure… Peut-être faudrait-il alors dire que l'agrégat est composé de 11 parties qui instancient « être une masse d'une livre », et d'une partie qui instancie « être une masse de 0,0375 livre ». Mais cette solution semble être *ad hoc*, un pansement qui cache mal le défaut d'une théorie qui transpose pour les quantités continues ce qui valait pour les discrètes.

Prenons-là néanmoins au sérieux, car elle ouvre la porte à un domaine beaucoup plus général de difficultés. Cette solution que pourrait envisager Armstrong revient à admettre qu'un objet (ici, une partie de l'objet massif de 5 kg) peut instancier une détermination quantitative S « être une masse de *x* U » avec *x* un nombre qui n'est pas entier naturel (ici, *x* était égal à 0,0375 et U à « être une livre »). A nouveau, on doit l'admettre si on veut éviter de parler d'un nombre non-entier de parties propres. Mais il faut dire aussi que cela est permis par l'analyse unifiée des nombres menée avec Peter Forrest. Cette théorie identifie les nombres avec des relations numériques internes entre propriétés quantitatives déterminées, et cela, que ces propriétés aient ou non un rapport de constituant à constitué. Or cela implique une conséquence tout à fait remarquable : non seulement une propriété quantitative S entre en relation numérique interne avec toutes les autres propriétés quantitatives de la même grandeur qui découpent effectivement l'agrégat qui instancie S, selon une infinité actuelle de manières, mais cette propriété structurale S est aussi en relation numérique interne avec des propriétés quantitatives qui ne sont instanciées par aucune partie de l'agrégat. Dans notre exemple, la propriété « être une masse de 0,0375 livres » est dans la relation de proportion interne 1:0,0375 avec « être une masse d'une livre », qui n'est instanciée par aucune partie de l'objet qui a une masse de 0,0375 livres.

Le problème (3) qui se pose alors est d'une portée tout à fait générale. Si une propriété quantitative S est déterminée comme étant une certaine quantité d'une propriété unitaire U, mais que U n'est pas une partie de S (ou qu'aucune partie propre de l'agrégat qui instancie S n'instancie U), alors comment s'assurer que U est bien une détermination *de la même grandeur* que S ? Comme S est une détermination de la Masse, par exemple, il faut s'assurer que ce qu'on compte en U est bien de la Masse, et non, par exemple, de la Charge, c'est-à-dire que c'est une détermination de la *même* grandeur. Mais cela semble impossible, puisque U n'est pas une partie constitutive de S. Comment Armstrong peut-il expliquer que deux magnitudes soient des déterminations de la même grandeur, si aucune n'est une partie constitutive de l'autre ? Comment distinguer entre une situation où une magnitude de la Masse entre en relation numérique interne avec une autre magnitude de Masse, d'une situation où elle entre dans une relation numérique interne avec une magnitude d'une autre grandeur, comme la Charge ?

2.2.3.2.La critique d'Eddon.

(Eddon, 2007) a posé un problème qui est une généralisation de notre premier. En effet, pour le cas que nous venons d'exposer, Armstrong pourrait toujours s'en sortir en disant qu'il faut inverser la

question : un objet qui a une masse de 0,0375 livre n'a pas de partie d'1 livre, mais un objet d'une livre a des parties de 0,0375 livres. C'est pourquoi il est intéressant de généraliser l'attaque avec Eddon pour éviter qu'Armstrong puisse ainsi échapper à la difficulté.

En effet, comme Eddon l'a parfaitement remarqué, il s'agit dans les deux cas d'un problème de ressemblance entre universaux structuraux. Chez Armstrong, les universaux ne se ressemblent pas comme se ressemblent les particuliers. Deux particuliers numériquement distincts se ressemblent quand ils instancient au moins un même universel. On dit alors qu'ils sont ressemblants sous un certain aspect (la qualité qu'ils partagent), ou identique qualitativement (quoique non numériquement). La ressemblance entre universaux, en revanche, entame la distinction numérique : deux universaux se ressemblent en étant partiellement identiques, c'est-à-dire qu'ils ont littéralement certains de leurs constituants qui sont uns et les mêmes. Par exemple, un tigre individuel et un chat individuel se ressemblent par un certain nombre de traits en commun, que l'on pourrait analyser comme des qualités universelles possédées par l'un et l'autre, bien qu'ils soient numériquement distincts. Mais les propriétés « être un chat » et « être un tigre » aussi se ressemblent. Ce sont des propriétés complexes, composées de multiples propriétés plus simples, comme toutes les propriétés caractéristiques des félins : « avoir des griffes », « être capable de feulement », etc. En se ressemblant, ces deux universaux se chevauchent et ont des parties strictement identiques.

Transposée cette analyse dans le cas des propriétés quantitatives. Deux universaux se ressemblent en ce qu'ils ont en commun d'être des déterminations de la masse, par exemple. Mais ils peuvent aussi se ressembler plus ou moins, c'est-à-dire être des déterminations plus ou moins différentes de cette même grandeur. La théorie de la détermination intrinsèque est spécialement pensée pour rendre compte de ces faits. La propriété « être une masse de 5 kg » ressemble à la propriété « être une masse de 4 kg », parce qu'elles ont un constituant en commun, la propriété « être une masse de 4 kg » elle-même. Cette dernière est un constituant de la première. Cette relation de ressemblance entre propriétés est aussi susceptible de degrés, et peut donc adéquatement s'interpréter comme une relation numérique : deux propriétés quantitatives seront donc d'autant plus proches que le nombre qui les relie de façon interne est proche de 1. Les propriétés « être une masse de 5 kg » et « être une masse de 4 kg » ont une ressemblance plus forte entre elles qu'avec la propriété « être un masse de 1 kg », parce qu'elles sont en rapport 5:4 entre elles, mais en rapport 5:1 et 4:1 avec la troisième. Ces relations d'identité partielle plus ou moins grande sont donc directement exprimées par les relations numériques internes entre elles. On s'aperçoit bien qu'Armstrong entend rendre compte de la ressemblance entre universaux quantitatifs par l'identité partielle entre un universel et celui dans la constitution duquel il entre.

Or les problèmes (1) et (3) présentent des cas de ressemblance entre universaux structuraux qui ne peuvent pas être analysés dans ce schéma.

Le problème (1) en effet demande comment nous pouvons identifier d'un côté la propriété structurale constituée par l'union de 5 propriétés unitaires « être une masse d'1 kg » et de l'autre, celle

constituée par l'union de 11,037 propriétés unitaires « être une masse d'1 livre ». Il ne suffit pas de dire, comme le fait Armstrong, que 11,037 objets d'une livre représentent la même somme que 5 objets d'un kilogramme, au motif que la propriété unitaire « être une masse d'une livre » et « être une masse d'un kilogramme » sont dans la relation numérique de proportion n = 5:11,037 (c'est-à-dire le rapport de conversion des kilogrammes en livres). Il ne suffit pas, pour le dire plus simplement, de s'assurer que 11,037 x 1 = 5 x n. Il faut s'assurer que les deux sommes ou compositions sont encore bien des déterminations de la *même* grandeur, c'est-à-dire que ce qu'on compte en kilogrammes est la même quantité que ce qu'on compte en livres ; et il ne suffit pas pour cela que les propriétés structurales « être l'union de 11,037 propriétés unitaires « être une livre » » et « être l'union de 5 propriétés unitaires « être un kilogramme » » soit dans une relation 1:1, car une masse de 5 kg et une charge de 5 Coulomb sont aussi, chez Armstrong, dans cette relation de proportion. Il faut donc fonder une ressemblance très précise entre la propriété « être une masse d'un kilogramme » et « être une masse d'une livre », à savoir qu'elles sont toutes les deux des déterminations quantitatives de la même grandeur, la quantité déterminable « Masse ». Comme nous le disions plus haut, Armstrong peut sembler s'en sortir en disant que tout objet massif d'un kilogramme a des parties propres qui instancient « être une masse d'une livre », mais cette solution n'est pas générale. C'est ce que montre le cas proposé à l'examen par Eddon.

Elle demande en effet comment rendre compte de la ressemblance entre une propriété quantitative négative et une positive, qui sont des déterminations de la *même* grandeur. Par exemple, entre « être un charge de 8 Coulomb » et « être une charge de -8 Coulomb ». Si l'on suit l'analyse donnée au-dessus, chacune de ces propriétés sera analysée comme une quantité absolue de « quelque chose ». Mais comme l'une est négative, l'autre positive, il semble impossible d'expliquer qu'elles ont en commun d'être « des quantités de la même chose », alors qu'elles sont toutes les deux des charges. Comment rendre compte du fait que la quantité « être une charge de -8 Coulomb » a en commun avec « être une charge de 8 Coulomb » d'être en relation numérique avec la même propriété unité « être une charge de 1 Coulomb », alors qu'aucune partie de l'objet de -8 Coulomb ne semble instancier une charge positive de 1 Coulomb (Maya Eddon répond ensuite à celui qui nierait cette répartition homogène de la charge, en reproduisant la critique au niveau d'une région homogène de cet objet). Parce qu'Armstrong analyse les quantités comme des quantités absolues de « quelque chose », il semble impossible d'expliquer ensuite qu'une charge négative et une charge positive soient des quantités absolues de la même chose, c'est-à-dire se ressemblent partiellement.

Définissons la propriété unitaire « être un anticoulomb » comme identique à la propriété d'avoir une charge de -1 Coulomb. Les charges négatives peuvent alors être conçues comme des quantités numériquement déterminées d'anticoulomb. La propriété S « être une charge de -8 Coulomb » a la relation numérique I_8 avec la propriété unitaire « être un anticoulomb ». Pour fonder ce que « être une charge de 8 Coulomb » et « être une charge de 8 anticoulomb » ont en commun, à savoir d'être des déterminations de la Charge, il faut expliquer pourquoi les deux propriétés unitaires, dont elles sont des

quantités déterminées, sont des déterminations quantitatives de la même grandeur. Il faut justifier ontologiquement que ce que l'on compte en Coulomb est la même grandeur que ce que l'on compte en anticoulomb, de la même façon que plus haut, il fallait expliquer pourquoi on comptait et déterminait en livres la même grandeur qu'en kilogrammes. Or ici comme plus haut, cela implique de fonder comme déterminations de la même grandeur des propriétés qui n'ont pas entre elles de rapport de constitution.

Pour résumer la situation, on s'aperçoit que les thèses (A) et (A') suivantes, soutenues par Armstrong, rencontrent des problèmes lorsqu'on les transpose des quantités discrètes aux quantités continues :

> *(A) Thèse substantialiste de la détermination intrinsèque : une quantité est intrinsèquement déterminée par sa composition à partir d'un « nombre » déterminé de propriétés unitaires, et deux déterminations différentes de la même quantité sont des quantités numériquement différentes de la même substance, c'est-à-dire des nombres différents des mêmes propriétés unitaires.*
> *(A') – Corollaire de (A), thèse de la ressemblance quantitative intrinsèque : être deux déterminations (différentes) de la même quantité, c'est être dans un rapport d'identité partielle – et comme nous parlons de ressemblance quantitative, c'est être dans un rapport de constituant à constitué.*
> *(B) Nécessité de fonder ontologiquement le fait que différentes propriétés unitaires sont des déterminations quantitatives de la même grandeur.*

En effet les quantités continues semblent nous mettre dans des situations où une propriété quantitative est déterminée (comme détermination de la grandeur M) par une relation numérique à une propriété unitaire qui n'est pas l'une de ses composantes, ce qui contredit (A'). C'est systématiquement le cas lorsqu'on veut (B) fonder le fait qu'une propriété unitaire est une détermination quantitative de la même grandeur qu'une autre propriété unitaire, et que ce qu'on compte ou mesure dans l'une est la même grandeur que ce qu'on compte dans l'autre.

La théorie des magnitudes comme déterminations intrinsèques d'Armstrong rencontre donc trois problèmes : (1) comment rendre compte que c'est la même détermination quantitative qui est constituée par des unions différentes de propriétés quantitatives inférieures ? (2) Comment comprendre qu'un agrégat puisse avoir un nombre non entier naturel de parties propres constitutives ? (3) Comment rendre compte de ce qu'ont en commun deux déterminations quantitatives qui sont les propriétés structurales d'agrégats qui n'ont aucune partie en commun ? Nous avons vu que la solution qu'on pouvait envisager pour répondre à (2) ne faisait que renforcer le problème (3). Et nous nous sommes aperçus que les problèmes (1) et (3) ont une racine commune, la théorie de la détermination intrinsèque des degrés de ressemblance entre universaux quantitatifs. Nous voulons maintenant formuler une

critique générale à partir de cette racine commune : une critique qui est plus générale que celle d'Eddon, en ce qu'elle attaque toute théorie substantialiste de la détermination quantitative, sans dépendre du corollaire (A') qui est finalement un aspect particulier de la théorie armstrongienne.

2.2.4. Nombres et unité(s) naturelle(s).

(A') exprime en effet la vision particulière à Armstrong de la façon dont deux propriétés quantitatives déterminées peuvent se ressembler en étant des déterminations de la même grandeur. Pour lui, ces deux propriétés doivent pour cela être dans un rapport de composition quasi-méréologique[61] qu'Armstrong finit par identifier à un rapport de constitution. Nous proposons un critère plus large pour que deux propriétés soient des déterminations de la même grandeur, qui nous semble rester caractéristique d'une théorie substantialiste de la détermination quantitative. Il comprend le critère d'Armstrong comme un cas particulier :

> *(A'') : Deux déterminations quantitatives M_1 et M_2 sont des déterminations (différentes) de la même grandeur M si et seulement s'il existe une (propriété d') unité U telle que M_1 est dans la relation numérique I_n avec U, et M_2 dans la relation I_m avec U, avec n et m des entiers naturels.*

(A'') revient à dire que deux propriétés sont des déterminations de la même grandeur si elles sont dans une relation numérique interne I_k avec *k* un nombre rationnel, c'est-à-dire si elles sont commensurables. La commensurabilité des deux déterminations est exprimée dans (A'') par l'existence d'une unité de compte commune, qui les divise en parties propres (entières). Nous pensons qu'elle est une thèse essentielle de la théorie substantialiste, et que c'est par ce côté que cette dernière pèche définitivement. Expliquons ces deux points de notre argument.

Commençons par dire pourquoi (A'') est à notre avis essentiel à la théorie substantialiste des déterminations quantitatives. Nous disions que dans le cas des grandeurs discrètes, toute détermination quantitative semble bien s'analyser comme un nombre déterminé d'une unité naturelle. Si par exemple on considère un agrégat de 18 électrons, il instancie une propriété structurale S « être un agrégat de 18 électrons », qui est intrinsèquement composée par 18 propriétés unitaires U_1 « être un électron ». Cette propriété unitaire semble avoir un statut privilégié, au sens où une quantité d'électrons se détermine comme un certain nombre de U_1. Pourtant, si on considère une autre propriété unitaire, U_2 « être une paire d'électrons », un agrégat de 18 électrons sera en relation I_9 avec U_2, de telle sorte qu'il instancie la propriété quantitative « être 9 paires d'électrons ». Si, maintenant, on prend U_{18} « être un 18-uplet

[61] Bien qu'il ne s'agisse pas d'un pur rapport de partie à tout, comme il le précise dans sa discussion avec Lewis – (Lewis, 1986b) et (Armstrong, 1997).

d'électrons » comme propriété unitaire, alors S sera dans la relation I_1 avec U_{18}. Prenons enfin la propriété unitaire U_{36} « être un 36-uplet d'électrons », alors S sera dans la relation numérique interne $I_{1:2}$ avec U_{36}. Il semble donc que même dans le cas des grandeurs discrètes, il existe toujours une multiplicité de propriétés unitaires pour déterminer ce en quoi en compte une quantité de quelque chose.

Cependant, malgré la diversité des unités, les problèmes que nous posions plus haut ne se posent pas ici. Regardons le problème (1) : sommes-nous gênés pour montrer ensuite que les propriétés « être un agrégat de 18 électrons » et « être un agrégat de 9 paires d'électrons » sont identiques, c'est-à-dire sont des déterminations identiques de la même grandeur ? On peut répondre que la propriété unitaire « être un électron » est en relation numérique $I_{1:2}$ avec la propriété unitaire « être une paire d'électrons », et qu'elles sont donc deux déterminations *de la même grandeur* qui ont le rapport numérique adéquat (18 = 2 x 9). Le problème (2) ne se pose pas non plus, dans la mesure où on admet qu'une propriété S puisse être en rapport numérique interne avec une propriété unitaire plus grande qu'elle : elle a la relation $I_{1:2}$ avec U_{36}. On ne rencontre alors pas non plus le problème (3), dans la mesure où toute paire d'électrons, et tout n-uplet d'électrons en général est en relation I_n avec la propriété unitaire plus fondamentale « être un électron » qui est une détermination *de la même grandeur*. Pour que les problèmes (1), (2) et (3) ne se posent pas, il faut que les propriétés unitaires différentes puissent être néanmoins dites déterminations de la même grandeur.

Or, en disant que c'est évidemment le cas pour les déterminations U_1, U_2, U_{19} et U_{36}, nous allons un peu vite. Lorsqu'on détermine une quantité d'électrons par sa relation numérique avec l'unité « être un électron », on compte effectivement des électrons. Mais en la déterminant par la relation numérique avec l'unité « être une paire d'électrons », on ne compte pas les électrons mais leurs paires. Donc les deux déterminations ne peuvent pas *rigoureusement* être prises pour des quantités différentes de la même chose, puisque les électrons ne sont pas des paires d'électrons. A la rigueur, il faudrait donc dire ou bien (a) que ce sont en réalité des déterminations quantitatives de grandeurs différentes : la quantité d'électrons d'une part, la quantité de *paires* d'électrons de l'autre, et la quantité de k-uplets d'électrons en général, ou bien (b) maintenir que ce sont des déterminations quantitatives de la même grandeur, mais celle-ci ne peut être aucune des précédentes. « Être un électron » et « être une paire d'électrons », et « être un k-uplet d'électrons » en général, sont des déterminations d'une grandeur étrange : « être une quantité de n-uplets d'électrons », avec n variant de 1, 2, …k. Or, « être une quantité de n-uplets d'électrons » ce n'est pas rigoureusement « être un certain nombre d'électrons ». A partir de cette différence, les trois problèmes précédents peuvent être produits.

En effet, le problème (1) nous demanderait : qu'est-ce qui vous autorise à dire que le fait que S soit dans la relation I_1 avec U_{18} est identique au fait que S soit en relation I_{18} avec U_1 ? c'est-à-dire que nous avons là la même détermination quantitative, c'est-à-dire le même nombre de quelque chose ? Les deux autres problèmes sont engendrés ensuite par des opérations sur le « *n* » dans « I_n ». Le problème (2) apparaît lorsque l'on autorise *n* à être un nombre rationnel : est-il sensé de dire, par exemple, que S

est en relation $I_{18/m}$ avec U_m, en relation $I_{4,5}$ avec U_4 « être un quadruplet d'électrons » ? C'est-à-dire, peut-on dire que l'on *compte* 4,5 quadruplets d'électrons dans l'agrégat de 19 électrons ? Il est difficile d'admettre que l'on *compte* un nombre non-entier de quelque chose, sauf s'il existe une unité plus petite en fonction de laquelle les parties entières et les parties non-entières sont commensurables. Mais on peut généraliser aux nombres négatifs, pour produire le problème (3), en autorisant des nombres négatifs à la place de « *n* » dans « I_n » : peut-on dire, alors, de manière sensée que S agrège -19 propriétés unitaires « être -1 électron » ? Il semble difficile de dire qu'une telle propriété unitaire est un constituant d'un agrégat positif d'électrons. Et de manière encore plus générale, on peut demander s'il est sensé de dire : S est une quantité de *x* propriétés unitaires U_x « être $19x^{-1}$ électrons », avec $x = \pi$ par exemple ?

Nous pensons que face à ces problèmes, un tenant de la théorie d'Armstrong devrait dire deux choses. Premièrement, qu'il ne semble pas légitime de remplacer « *n* » dans « I_n » par un autre nombre qu'un entier naturel puisque nous *comptons* des unités (ou les constituants de la propriété qu'il instancie). Ensuite, on peut traiter le problème (2) des décomptes non-entiers en postulant précisément un *principe de discrétisation* tel que (A''). Mais il n'est certainement pas légitime de remplacer *n* par des nombre non-rationnels et non-positifs. Et une fois le champ des problèmes réduit ainsi aux problèmes (1) et (2), un partisan d'Armstrong nous répondrait certainement qu'on peut les traiter en montrant que les différentes propriétés unitaires peuvent être prises pour des déterminations de la même grandeur parce qu'en vertu de A'', elles sont des quantités numériques différentes de la même chose. C'est à ce titre seulement qu'un k-uplet d'électrons peut être identifié à un ensemble de k électrons, et que par conséquent, tous les k-uplets d'électrons sont des déterminations d'une même grandeur simple : la quantité d'électrons.

C'est justement cela qui n'est pas possible avec les grandeurs continues. Le terme « nombre » n'a pas la même signification dans la phrase : « un agrégat est composé d'un certain *nombre* de » et dans la phrase : « une quantité est déterminée comme un certain *nombre* de propriétés unitaires ». Dans la première phrase, les nombres ne peuvent être autre chose que des entiers naturels ou par extension, des nombres rationnels positifs. Dans la seconde phrase, le terme désigne une détermination numérique de la grandeur, par une relation interne entre la propriété S et une propriété unitaire U. D'après l'analyse des nombres par Armstrong et Forrest, cette relation interne peut être désignée par tous les nombres, rationnels positifs comme négatifs ou irrationnels. Dans le cas des grandeurs discrètes, les deux significations coïncident, puisqu'une telle grandeur se détermine comme un certain nombre entier naturel de propriétés unitaires instanciées par les parties propres. Mais cette coïncidence n'a plus lieu dans le cas des grandeurs continues, qui peuvent être dans une relation numérique I avec une propriété unitaire U, avec I désignée par un nombre irrationnel ou négatif. Les « *n* », dans « n-uplet » et « I_n » désignent maintenant des nombres conceptuellement différents. Il n'y a en particulier aucun raison pour que, pour toutes déterminations M_1 et M_2, il existe une propriété unitaire U telle que $I_n(M_1,U)$ et $I_m(M_2,U)$ avec *n* et *m* des entiers naturels. Il n'y a donc aucune raison de supposer, pour des grandeurs continues

comme M, une propriété unitaire naturelle pour que ses déterminations soient des quantités numériques déterminées de la même chose.

En perdant ainsi le corollaire (A''), comme on perdait au-dessus (A') avec les arguments de Eddon, on perd le seul moyen qu'avait une théorie substantialiste de rendre compte du fait que différentes propriétés quantitatives sont des déterminations de la même grandeur. Ainsi, l'argument général que nous opposons à toute théorie substantialiste de la quantité est qu'elle est incapable de rendre compte par une solution générale du fait que différentes propriétés sont des déterminations de la même grandeur, parce qu'elle échoue dans le cas des grandeurs continues. En effet, les déterminations de grandeurs continues présentent des différences quantitatives qui ne sont pas réductibles à des rapports de nombres entiers plus ou moins grands d'une même unité naturelle.

La théorie relationnelle réussit alors précisément en ce point où la théorie substantialiste échoue, puisqu'elle est capable de rendre compte de la détermination d'une grandeur en l'absence d'unité naturelle. Selon la théorie relationnelle, des propriétés sont des déterminations de la même grandeur M parce qu'elles sont constituées comme des faisceaux différents des mêmes relations-en-M à toutes les autres déterminations de M. Elles sont des déterminations différentes parce qu'elles n'ont jamais ces relations-en-M avec les mêmes autres déterminations de M. Autrement dit, deux déterminations différentes de la même grandeur M sont analysées comme des positions différentes dans la même structure relationnelle des déterminations de M.

C'est alors bien l'absence d'unité naturelle pour les grandeurs continues qui fournit la meilleure raison pour passer à une théorie relationnelle de la détermination quantitative. La théorie relationnelle est la meilleure façon de cesser de soumettre notre conception de la quantité à un impératif faussement intuitif, issu de l'imagination discrète, qui veut que toute quantité déterminée soit un certain nombre de quelque chose.

2.2.5. Les déterminations quantitatives sont-elles des états de fait absolus ?

L'argument présenté à l'instant nous semble assez fort pour disqualifier toute analyse substantialiste de la détermination d'une quantité, et nous aligner sur une théorie relationnelle. Nous devons alors mentionner un nouvel argument, que l'on trouve chez (Swoyer, 1987), contre une théorie non-relationnelle, en défense d'une théorie monadique des propriétés quantitatives.

Selon Swoyer, seule une théorie monadique permet de faire des déterminations quantitatives des états de fait *absolus*, alors qu'une théorie relationnelle risque d'en faire des états de fait *relatifs*. Expliquons ces termes nouveaux. Les états de fait sont des particuliers (ce qu'Armstrong appellerait plutôt des « états de choses »), qui sont certaines quantités déterminées, par exemple la masse déterminée de ce sac de farine ou la taille déterminée de David. Nous avons déjà rencontré un argument chez Armstrong (*cf* section 2.2.2.3.), qui déplorait le fait que dans la théorie relationnelle, la taille de

David ne serait pas déterminée si celle de Goliath n'existait pas aussi actuellement. L'argument de Swoyer est légèrement différent. Un état de fait est relatif, et non seulement relationnel, quand la détermination quantitative qu'il est en particulier n'est déterminée que *relativement* à une autre et non absolument, c'est-à-dire de façon séparée des autres. Apparemment pour Swoyer, une théorie relationnelle des quantités implique une théorie de la détermination relative. Or cette dernière a une conséquence déplorable :

> Selon une analyse relationnelle simple, l'hypothèse que les longueurs de tous les objets ont doublé pendant la nuit manquerait de contenu empirique (*empirical content*), puisque les ratios de longueurs resteraient les mêmes. Pourtant, il y a des moyens de déterminer si les longueurs ont doublé ou non, puisque diverses lois relient la longueur avec d'autres grandeurs. Sans doute, le relationniste peut sophistiquer son analyse pour en rendre compte, mais alors elle perdrait une grande part de l'attrait intuitif que l'idée relationniste simple pouvait avoir. (Swoyer, 1987, p. 245)

En effet, dans une théorie relationnelle, le fait qu'un objet possède une magnitude déterminée ne signifie ontologiquement rien d'autre que son inscription dans une structure de relations quantitatives dans cette grandeur. Or cette structure est généralement prise pour invariante sous certaines transformations (*cf* notre chapitre VI). Swoyer le rapproche d'une conséquence de la théorie relationnelle de l'espace, pour laquelle une longueur n'est pas une propriété intrinsèque d'un intervalle d'espace-temps, mais seulement une relation entre ses points ou les objets situés en ces points. Si les propriétés spatiales, y compris métriques, sont des propriétés relatives des points de l'espace, alors la transformation par laquelle « toutes les longueurs ont doublé pendant la nuit » conserve la structure des situations relatives des points de l'espace.

Or ce fait est, signale Swoyer, beaucoup plus problématique dans le cas d'autres grandeurs physiques, comme la masse ou la température, où l'échelle compte (*scale matters*). Une masse double a des effets causaux et observables bien différents, quand bien même l'ensemble des masses des objets de l'univers auraient doublé en même temps. L'« attrait intuitif » d'une théorie monadique des déterminations quantitatives, qui en fait des propriétés intrinsèques des objets qui les possèdent, tient à ce qu'elle permet de sauver l'échelle jusque dans ses aspects non-relatifs, mais absolus, précisément parce qu'elle fait des relations entre les déterminations quantitatives des faits qui surviennent sur ce que sont les caractéristiques quantitatives intrinsèques des objets, et non pas des faits relationnels constitutifs de ces déterminations. Cette objection, à côté de celle d'Armstrong contre les déterminations quantitatives comme états de choses polyadiques, est une sérieuse difficulté posée à la théorie relationnelle, et nous aurons à y répondre. En particulier, nous nierons qu'une théorie relationnelle des déterminations entraîne le caractère seulement relatif de ces déterminations dans les particuliers. Le relationnel n'implique pas le relatif.

Maintenant que nous avons présenté d'abord l'opposition entre la théorie relationnelle de Bigelow et Pargetter, et la théorie substantialiste d'Armstrong-Forrest, puis fait le tour des différents arguments échangés, nous pouvons passer à une nouvelle défense de la théorie DVQ. Au sortir de leur querelle, la balance nous semble pencher du côté d'une théorie relationnelle, car elle seule peut rendre compte de la détermination des grandeurs continues. Cependant, Armstrong et Swoyer ont mis en avant des exigences importantes, que toute théorie des quantités doit satisfaire, mais dont apparemment seule une théorie substantialiste peut rendre compte. L'enjeu de la prochaine section est de montrer comme DVQ, comme théorie relationnelle des quantités, répond en même temps aux soucis soulevés par ces deux auteurs.

3. La théorie DVQ comme ontologie des structures relationnelles de détermination.

Dans ce qui suit, nous commençons par formuler les exigences nécessaires à toute théorie des quantités, que nous pouvons extraire des positions précédentes. Puis nous ferons apparaître DVQ comme une théorie adéquate des quantités en ce qu'elle permet de satisfaire à ces exigences tout en évitant les problèmes soulevés par les arguments qui précèdent. DVQ ne sera pas un « juste milieu » entre les théories relationnelle et monadique : *elle est une théorie relationnelle*, au sens où elle soutient une théorie relationnelle de la détermination des quantités. En revanche, elle n'est pas une théorie relationnelle des *propriétés* quantitatives, puisque les déterminations quantitatives n'y sont pas analysées comme des propriétés (universaux) mais comme des *particuliers abstraits* (tropes). DVQ est donc une théorie relationnelle des particuliers quantitatifs abstraits.

3.1.La signification de la querelle entre théories relationnelles et monadiques.

Il ressort de la querelle qu'une analyse adéquate des déterminations quantitatives doit, d'une manière ou d'une autre, leur accorder à la fois un aspect relationnel et un aspect absolu. Nous devons mettre au clair cette double exigence, pour mieux y répondre ensuite par notre proposition ontologique.

En effet, l'exigence principale qui meut la critique par Armstrong de l'analyse relationnelle, puis ses propositions propres, est très bien formulée par Armstrong lui-même dans sa deuxième critique (section 2.2.2.) : que l'attribution d'une détermination quantitative à un particulier, et des relations de quantité qui s'ensuivent et qui le relient à d'autres particuliers, soient fondées sur la nature (quantitative) intrinsèque de ce particulier. D'après cette exigence, c'est en vertu de ce qu'est la taille particulière de Goliath et de ce qu'est celle de David que les deux se tiennent dans la relation « être 2 fois plus grand que ». Armstrong pense naturellement que cette nature intrinsèque du particulier tient à une propriété (non-relationnelle) qu'il possède, et c'est pour cela qu'il appelle sa théorie monadique.

La même exigence se lit dans l'argument de Swoyer fondé sur l'importance de l'échelle. Si, en effet, les tailles respectives de David et de Goliath n'étaient pas des aspects intrinsèques de ces corps particuliers, mais déterminés seulement relativement l'un à l'autre, alors les tailles de David et Goliath pourraient doubler pendant la nuit, sans que leurs tailles déterminées ne changeassent. Or on sait que pour un organisme, l'échelle compte et le doublement de sa taille peut avoir des effets causaux importants sur la résistance mécanique de sa structure[62]. Il est donc légitime de penser que les déterminations quantitatives ne sont pas relatives, et tiennent à ce que sont les natures intrinsèques des particuliers.

Ces deux raisons de préférer la théorie monadique capturent une exigence incontestable que doit remplir toute théorie des déterminations quantitatives : que ce qui fonde ontologiquement la vérité de l'attribution d'une détermination quantitative à un particulier soit un aspect intrinsèque et absolu de ce particulier. Si un objet massif est dit posséder une masse de 5 kg, cela doit être vrai en vertu de ce qu'il est par lui-même, et non de ses possibles relations à d'autres objets massifs. Un particulier doit, *par ce qu'il est de particulier* (sa masse particulière) et non par la place que sa masse occuperait dans une *structure générale* de relations, rendre vraie l'attribution quantitative. Or nous ne reconnaissons là rien d'autre que la *condition de particularité*, qui demandait que le vérifacteur de l'attribution d'un prédicat soit quelque chose impliquant *ce qu'est le particulier* auquel on l'attribue.

L'« attrait intuitif » d'une théorie monadique des déterminations quantitatives, qui en fait des propriétés intrinsèques des objets qui les possèdent, vient de ce qu'elle satisfait ainsi la condition de particularité que nous avions formulée dès le premier chapitre sur les propriétés en général. Mais nous retrouvons maintenant cette condition de particularité avec les quantités : ce qu'est le vérifacteur de l'attribution d'une quantité déterminée à un particulier tient à quelque chose de ce particulier pris absolument, c'est-à-dire séparé de toute relation à d'autres objets massifs.

On se rappelle également que lorsque cette condition n'était pas satisfaite, on assistait à ce que nous avions appelé un « ratage de l'instanciation » ou une « défaite de la particularité », au sens où nous devions tenir la propriété ou l'universel comme étant là, en personnes, non particularisés. C'est très exactement ce que craignent Armstrong et Swoyer avec la théorie relationnelle. Cette théorie impliquerait selon eux que la relation « deux fois plus grand que », qui est instanciée par David et Goliath, ne survienne pas sur des états de choses *particuliers* impliquant les tailles déterminées et absolues *de David* et *de Goliath*, c'est-à-dire ne soit pas rendue vraie parce que ce sont leurs tailles particulières. Elle implique qu'au contraire, pour David comme pour Goliath, avoir leurs tailles

[62] Dans la deuxième journée de ses *Discours concernant deux sciences nouvelles*, publiés en 1638, Galilée aborde cette question dans le cadre plus général de la résistance mécanique des structures : « il apparaît clairement que, si l'on voulait conserver chez un géant particulièrement grand la proportion qu'ont les membres chez un homme ordinaire, il faudrait soit trouver une matière bien plus dure et plus résistante pour en constituer les os, soit admettre que sa résistance serait proportionnellement beaucoup plus faible que celle des hommes de tailles médiocres ; sinon, à augmenter sans mesure sa hauteur, on le verrait plier sous son propre poids et s'écrouler. »

déterminées est simplement être dans la relation universelle « être deux fois plus grand que » l'un avec l'autre.

Or c'est pour cela que, premièrement, on peut se demander ce qui fait que David est dans *cette* relation avec Goliath, et pas dans une autre, si cette relation ne se fonde sur rien d'intrinsèque à l'un ou à l'autre (critique d'Armstrong), et que deuxièmement, on peut voir ici une détermination seulement *relative* de ces tailles, ne permettant plus de distinguer cette situation d'une autre où David et Goliath seraient trois ou quatre fois plus grands que ce qu'ils sont. Nous pensons par conséquent qu'une théorie des quantités qui satisfait à notre condition de particularité, et qui réussit par conséquent à concevoir des quantités déterminées comme instanciées dans ou par des particuliers, devrait être protégée de ces deux critiques d'Armstrong et de Swoyer.

Nous pensons toutefois qu'une théorie adéquate des quantités doit être relationnelle. S'exprime en effet chez Bigelow et Pargetter une exigence tout aussi essentielle que la première. Elle demande que toute détermination quantitative ait une nature relationnelle pour entrer dans des relations de quantité déterminées avec les autres déterminations de la *même* quantité. Il faut donc, en suivant ces deux auteurs, qu'une détermination quantitative ne soit rien d'autre qu'un ensemble de relations avec les autres déterminations de *la même* grandeur, c'est-à-dire une place dans une *même* structure de détermination.

Si l'on se rappelle maintenant le chapitre 1, on s'aperçoit que cette exigence n'exprime rien d'autre que le contenu de notre seconde condition vérifactionnelle, la *condition de généricité*. Cette condition posait que lorsque nous attribuons un prédicat à divers particuliers a, b, c, etc., les vérifacteurs de ces diverses attributions ont quelque chose de commun entre eux, pour rentre compte du fait que c'est la même chose que nous leur attribuons diversement. Nous la retrouvons maintenant dans l'analyse ontologique des quantités, où elle exprime le besoin de rendre compte du fait que toute quantité particulière est une détermination du même déterminable que d'autres. Cette masse particulière de 5kg est une détermination de la même grandeur que cette masse de π kg, la « Masse » en général. Or les analyses précédentes nous permettent maintenant d'affirmer que seule une théorie qui fait de ces déterminations quantitatives des faisceaux de relations à toutes les autres déterminations de la même grandeur permet d'en rendre compte pour tout type de grandeur (et pas uniquement les discrètes).

Ainsi, le conflit entre théories relationnelle et monadique reproduit, dans le cas des quantités, la tension entre les deux conditions vérifactionnelles que nous dégagions dans le premier chapitre. Ces deux conditions capturent ce que les deux théories des quantités enferment de juste, et doivent être satisfaites. Nous devons donc montrer que la théorie DVQ les satisfait.

3.2. La querelle du substantialisme et du relationnisme au sein de la théorie DVQ. Le tournant vers une lecture structuraliste de DVQ.

Nous ne pouvons pas prendre directement position dans la querelle entre théories relationnelle et monadique, puisque tous présupposent une analyse des déterminations quantitatives comme propriétés (monadiques ou polyadiques) que nous ne partageons pas. D'après DVQ, les déterminations quantitatives ne sont pas des *propriétés* mais des occurrences *particulières* de propriétés *déterminables*. Pourtant, la querelle peut d'une part tout à fait se transposer des propriétés aux instanciations de ces propriétés, et qui plus est, elle a une signification importante pour préciser la théorie DVQ.

La querelle entre théories relationnelle et monadique peut en effet se transposer au cœur d'une théorie des tropes quantitatifs. Nous analysons les déterminations quantitatives comme des tropes (quantitatifs), mais sont-ils des tropes relationnels ou bien des tropes monadiques. Autrement dit, une détermination quantitative s'analyse-t-elle comme un faisceau de relations particulières (instanciées) ou bien comme un particulier non-relationnel ? Mais surtout, nous devons expliquer pourquoi cette question est cruciale pour comprendre plus profondément la théorie DVQ.

La thèse DQ affirme que les diverses instances d'une même propriété générique sont distinctes parce qu'elles sont des déterminations différentes de cette propriété. Mais la thèse VQ ajoute qu'elles ne sont distinctes qu'en cela, et que chacune *n'est* rien d'autre qu'une détermination différente des autres déterminations de la même propriété. C'était ce qui fait de ces déterminations quantitatives des *abstracta*. Nous appelons *variations* quantitatives ces relations qui distinguent les instances de la même propriété comme ses déterminations différentes. Or une question se pose naturellement concernant les variations : si elles sont des relations quantitatives entre ces déterminations, et si ces déterminations sont des *abstracta*, alors lesquelles, des déterminations ou des variations, ont la priorité ontologique ? Les variations surviennent-elles de façon interne, à la Armstrong, sur des déterminations quantitatives qui existent préalablement, ou bien les déterminations quantitatives ne sont-elles que des faisceaux de relations aux autres déterminations de la même propriété ?

3.2.1. DVQ est une théorie relationnelle de la détermination des quantités.

Pour satisfaire la condition de généricité, la théorie DVQ affirme que tout l'être des déterminations quantitatives est relationnel. Les différents cas particuliers d'une même propriété m, comme déterminations différentes de m, sont *relationnellement déterminés*. Ils ne consistent qu'en, et ne se distinguent que comme faisceaux différents des mêmes relations en m, comme « être deux fois plus grand en m que », « être π fois plus grand en m que », etc. Comme dans la théorie de Bigelow et Pargetter, ces relations surviennent donc de façon interne sur ce que sont les *relata*, mais de façon triviale, parce qu'elles participent tout simplement de *ce que sont* ces *relata*. Pour prendre position dans

la querelle sur la nature des quantités, et répondre aux problèmes légitimes qu'elle soulève, nous donnons donc à la théorie DVQ un tour structuraliste qu'elle n'avait pas au début. Comme théorie relationnelle de la détermination des quantités, DVQ affirme maintenant que l'ensemble des cas particuliers d'une propriété forme une structure quantitative.

La thèse VQ doit alors être comprise comme plus fondamentale que DQ, parce que le concept de détermination quantitative se définit par le concept de variations quantitatives, et non l'inverse. Différents cas particuliers du même déterminable sont des déterminations différentes parce qu'elles sont dans un rapport de variation quantitative les unes avec les autres. Nous pouvons alors enfin donner une définition structurale du concept de variation quantitative, que nous n'avions qu'intuitivement caractérisé comme le fait d'être « plus ou moins la même chose ». Soient alors la propriété (quantitative) m, et M l'ensemble des m_1, m_2, …m_n qui sont des cas particuliers distincts de cette propriété m. Soient aussi $R_m =< r_m^1, r_m^2, \ldots r_m^n >$ les différentes relations déterminées en m comme « être 1 fois plus grand en m que », etc. Nous disons alors que deux déterminations m_i et m_j de m sont en rapport de *variation quantitative* l'une avec l'autre lorsque :

i. *Pour toute* $r_m^k \in R_m$ *de* m_i *et* m_j *appartiennent à l'extension de* r_m^k.

ii. *Pour toute* $r_m^k \in R_m$, $r_m^k(m_i, m_k)$ *et* $r_m^k(m_j, m_{k'})$ *mais* $m_k \neq m_{k'}$.

La clause i. exprime que toutes les déterminations différentes de m se tiennent dans exactement les mêmes relations en m. Cette clause garantit que m_i et m_j appartiennent à la même structure relationnelle. Elle permet donc à DVQ de satisfaire la condition de généricité pour les propriétés quantitatives : toutes les déterminations de m sont des déterminations de la même grandeur parce qu'elles sont des faisceaux des mêmes relations. La clause ii. ajoute que pour chacune de ces relations, les deux déterminations l'ont avec des déterminations distinctes. Cette clause ii. garantit que si deux déterminations appartiennent à la même structure, elles sont néanmoins distinctes comme des places différentes de cette même structure. Elle exprime l'essence de la thèse relationnelle et structuraliste sur la détermination. Ainsi, deux déterminations sont en rapport de *variation* quantitative lorsqu'elles sont des *places différentes* de la même structure de déterminations.

3.2.2. Mais DVQ est une théorie relationnelle de l'instanciation des quantités.

Comment, dès lors que nous adoptons une théorie relationnelle de la détermination des quantités, pouvons-nous résoudre les problèmes soulevés par Armstrong et Swoyer ? Nous devons montrer, premièrement, en quoi DVQ permet de satisfaire à la condition de particularité que nous avons trouvée au fond de certaines de leurs critiques. Nous verrons ensuite, dans la section 3.2.3., en quoi

DVQ permet également de répondre précisément à la troisième critique d'Armstrong contre les déterminations quantitatives comme états de choses *relationnels*.

3.2.2.1.Réponse à la critique d'Armstrong.

D'après DVQ, les déterminations quantitatives ne sont pas des *propriétés* déterminées mais des *occurrences* de propriétés *déterminables*. La thèse DQ propose en effet que les déterminations de la propriété déterminable m soient le fondement de la distinction des différents cas particuliers de m. Nous devrons vérifier que DQ satisfait bien la condition de particularité, et que les relations quantitatives en m surviennent bien sur ce que sont les particuliers qu'elles relient.

Regardons ce qu'il en est de la critique d'Armstrong. C'est bien en vertu de ce qu'est la taille particulière de Goliath et de ce qu'est celle de David que les deux se tiennent dans la relation « être 2 fois plus grand que ». Armstrong pense que cette nature intrinsèque du particulier tient à une propriété (quantitative) qu'il possède et non une relation, et c'est pour cela qu'il appelle sa théorie monadique. Il analyse le fait particulier de la taille de David comme la possession, par l'objet concret « David », d'une propriété quantitative déterminée de taille, c'est-à-dire comme un état de choses. Mais nous avons argué dans le chapitre III qu'il était possible de concevoir la nature d'un cas particulier sur un autre modèle que celui de l'état de choses, et avons proposé pour cela la thèse DQ des tropes quantitatifs, qui seule nous semble permettre de satisfaire en même temps les conditions de particularité et de généricité. En suivant cette proposition théorique, la taille particulière de David n'est pas la possession d'une propriété déterminée par le *concretum* « David », mais un particulier abstrait qui est une taille déterminée, par exemple une taille d'1,5. m. Nous verrons dans la section 3.2.3. comment on peut alors concevoir le lien entre ce particulier abstrait, qu'est cette taille déterminée, et le *concretum* massif qu'on appelle « David ». Toujours est-il que l'*abstractum* « une taille de 1,5 m » est un particulier déterminé, en lequel consiste le fait particulier de la taille de David.

Mais nous ajoutons maintenant que ce particulier est déterminé, comme la « nature particulière » qu'il est comme trope (Campbell), par ses relations de Taille avec tous les autres cas particuliers de la Taille. Ce qui existe avec ce particulier, c'est un faisceau de relations particulières avec toutes les autres instanciations de la « Taille ». La taille de David, comme celle de Goliath, sont des tropes relationnels, et donc des particuliers. C'est donc parfaitement en vertu de ce qu'ils sont comme particuliers qu'ils entrent dans la relation « être 2 fois plus grand que ». Nous pouvons ainsi répondre à la critique d'Armstrong en refusant d'être emportés vers sa théorie de la particularité comme état de choses, et en lui opposant que DVQ est bien une théorie de la particularité.

3.2.2.2.Réponse à l'argument de Swoyer.

Passons maintenant à la critique de Swoyer, qui est plus redoutable et nous demande d'ajouter un aspect substantiel à la thèse DQ. Swoyer reprochait à la théorie relationnelle des quantités de présenter le trait caractéristique des théories relationnelles de l'espace, où les aspects métriques (comme les propriétés de distances entre points, ou de mesure d'angles entre droites ou géodésiques) ou bien restent indéterminés, ou bien doivent être réduits à des aspects ordinaux ou topologiques comme les situations relatives des points. Le problème est alors que, pour des quantités comme la Masse ou la Charge, et si la théorie relationnelle de la détermination de ces quantités implique, comme le pense Swoyer, une détermination seulement relative des quantités, alors cette théorie est incapable de rendre compte de différences de déterminations qui sont pourtant causalement et empiriquement attestables.

L'enjeu du problème soulevé par Swoyer : l'ontologie des structures instanciées.

Soient par exemple deux paires de particuliers massifs, c'est-à-dire quatre masses particulières déterminées, mesurées en kg : (1,5 kg, 3 kg) et (6 kg, 12 kg). On voit que ces deux paires sont des instances de la relation r_{m2} « être deux fois plus massif que », puisqu'à chaque fois le second particulier dans la paire est deux fois plus massif que le premier. On s'aperçoit alors que la critique de Swoyer est double. Voici en effet ce que dirait notre objecteur : « (1) Vous qui repoussez la théorie armstrongienne où la relation de masse r_{m2} survient de façon interne sur les propriétés intrinsèques de masse de ces quatre objets, comment distinguez-vous alors ces deux paires qui pourtant sont deux instances de la même relation r_{m2} ? Et (2), comment le faites-vous, vous pour qui *de surcroît* les *relata* composant ces paires ne sont pas des objets concrets mais des objets abstraits ? »

En effet, comme l'objet qui est une masse de 1,5 kg n'est rien d'autre que l'instance '1,5 kg' de la Masse, il n'est pas un *concretum*, et *ne peut pas se distinguer par d'autres propriétés ou relations* de cet autre objet massif qu'est la masse de 6 kg. Or, si ces deux particuliers ne sont des déterminations de la Masse que relationnellement, et que les deux sont alors des instances de la relation de Masse « être deux fois moins massif que », comment pouvez-vous encore les distinguer ? Or certainement, ajouterait notre objecteur, une masse d'1,5 kg et une masse de 6 kg ne sont pas les mêmes déterminations de la Masse, puisqu'elles ont des effets causaux différents. La théorie relationnelle, en impliquant une théorie relative de la détermination des quantités, ne permettrait donc pas de fonder suffisamment des différences entre déterminations pourtant différentes. Dans la mesure où toutes les instances d'une même propriété comme « être massif » ne sont que des places différentes dans une même structure de détermination (de la grandeur « Masse »), et ne sont rien d'autre que ces places en rapports de variation quantitative, alors toutes ces instances sont qualitativement indiscernables, puisqu'elles sont toutes des instanciations du même faisceau de relations $r_m^k \in R_m$.

Swoyer, rejoignant alors Armstrong, juge préférable une théorie de la détermination intrinsèque d'une quantité, sur laquelle surviendraient ces relations. Et pourtant, nous maintenons que la détermination d'une quantité est relationnelle, et que le problème que semble soulever cette indiscernabilité qualitative généralisée ne vient que de la persistance d'intuitions illégitimes, qui accordent un privilège aux qualités sur les quantités. Montrons alors en quoi, malgré tout, une théorie des déterminations et variations quantitatives est suffisante pour discerner les deux paires d'objets massifs prises comme exemple, ainsi que toutes situations physiques qui instancient des parties distinctes d'une même structure de détermination.

Signalons aussi que cette discussion a une portée extrêmement générale et devrait intéresser au plus haut point les tenants du Réalisme Structural Ontique (OSR), pour qui on ne peut tenir pour réel (et *a fortiori* connaissable par nos meilleures théories physiques) que les structures mathématiquement décrites par ces théories (à l'exclusion de la nature intrinsèque des objets qui les instancient). Cette thèse est généralement confrontée à l'objection classique de l'insuffisance d'une structure de relations pour déterminer des objets particuliers. On oppose alors à OSR la possibilité que des systèmes physiques, qui diffèrent numériquement parce que composés de particuliers physiques différents, peuvent instancier les mêmes relations et donc être des portions d'une même structure, sans que ces relations structurales soient à elles seules suffisantes pour les distinguer. Notre réponse à cette objection de Swoyer aura donc une portée très générale pour l'ontologie des structures instanciées.

Nous devons répondre à l'objection en deux temps, en montrant d'abord en quoi une large partie de l'objection tombe en comprenant bien la teneur de la théorie DVQ, avant de faire droit à une version modale de la même objection, qui nous demandera de faire un ajout substantiel à notre théorie.

Première réponse.

Premièrement, cette objection ne vaut en grande partie qu'à la condition de penser en termes d'états de choses – ici, d'états de choses relationnels, puisque c'est une même relation (et un même faisceau de relations) qui est instanciée plusieurs fois. En effet, les particuliers composant ces paires ne sont pas dans notre théorie des *concreta* mais des *abstracta*. Conçus comme faisceaux *instanciés* de relations déterminées, ils ne sont distincts qu'en tant que déterminations relationnelles de la même propriété m. DVQ exclut donc par hypothèse que des objets divers instancient la même propriété ou le même faisceau relationnel, et occupent la même place dans la structure des déterminations de m. Si deux objets sont le même faisceau de relations instanciées, alors ils sont un seul et même particulier abstrait. Nier cela, c'est refuser le cœur même de la théorie DVQ et donc retourner aux chapitre I, où nous discutons les autres ontologies de la particularité et de l'instanciation. C'est donc le point (2), l'abstractivité des particuliers, qui nous permet en réalité de répondre à l'objection (1).

Si, en revanche, on nous demande de distinguer deux paires de particuliers massifs qui correspondent à des déterminations distinctes de la masse, comme (1,5 kg, 3 kg) et (6 kg, 12 kg), alors

nous répondons que DVQ en rend parfaitement compte. Ces deux paires sont des parties distinctes de la même structure de déterminations quantitatives. Certes, on peut dire de ces deux paires de particuliers qu'elles ont la même relation « être deux fois plus massif que ». Mais on ne peut pas soulever contre DVQ le reproche traditionnellement fait à une théorie OSR, et dire que cette relation ne suffit pas à distinguer ces deux paires ou les rendrait indiscernables.

En effet, les particuliers abstraits qui sont les places de la structure désignées par '1,5 kg', '3 kg', '6 kg' et '12 kg' sont des faisceaux de relations *instanciées*. Donc certes la masse particulière '3 kg' est « deux fois plus massive que » la masse particulière '1,5 kg', comme l'est '12 kg' relativement à '6 kg'. Les paires (1,5 kg, 3 kg) et (6 kg, 12 kg) instancient évidemment la même relation abstraite « être deux fois plus massif que », qui est un prédicat relationnel que l'on utilise dans notre langage, pour décrire la structure. Mais bien qu'indiscernables qualitativement, les masses déterminées '3kg' et '12 kg' sont néanmoins deux masses particulières *distinctes* par les relations particulières *qu'elles sont* : la première est cette relation à la masse particulière '1,5 kg', tandis que la seconde est la relation particulière « deux fois plus massif que '6 kg' ». Comme elles sont cette relation à d'autres particuliers massifs *différents*, elles sont des cas particuliers relationnels distincts.

C'est ce qu'affirmait la clause ii. de notre définition des variations quantitatives : « pour toute $r_m^k \in R_m$, $r_m^k(m_i, m_k)$ et $r_m^k(m_j, m_{k'})$ mais $m_k \neq m_{k'}$ », c'est-à-dire que toute place de la structure instancie toutes les mêmes relations qu'une autre place, mais avec des *relata* distincts. Cette clause s'avère tout à fait suffisant pour rendre compte de la distinction numérique des diverses déterminations de la même grandeur M. Elles sont simplement distinctes comme des places différentes d'une unique structure instanciée.

Deuxième réponse.

Mais l'objection de Swoyer peut rebondir en prenant un tour modal, et nous demander pour y répondre un ajout substantiel à DVQ. Admettons, dirait un partisan de Swoyer, que DVQ rend bien compte de la distinction entre des déterminations différentes de m, seulement par les faits relationnels que sont leurs places dans une même structure instanciée. Cette théorie ne peut néanmoins valoir que pour distinguer les déterminations différentes de m qui sont *actuellement* instanciées, puisqu'elle s'appuie sur les relations particulières (de masse) entre les cas actuellement instanciés de la propriété m. Mais soit maintenant (m_i, m_j) une paire de particuliers massifs qui sont physiquement possibles mais non tous les deux actuels. Prenons l'exemple d'une situation physique plausible, avec m_i la masse totale de l'univers, qui est actuellement instanciée, et m_j une masse déterminée qui n'est pas actuellement le cas puisqu'elle correspond à deux fois m_i. Comment la théorie DVQ peut-elle distinguer les deux paires de masses déterminées (1,5 kg, 3 kg) et (m_i, m_j), si elle ne peut s'appuyer cette fois sur le fait que chaque

particulier de la paires instancie des relations *particulières* avec des particuliers massifs distincts ? L'argument modifié de Swoyer prendrait la forme suivante :

(A) Il existe des déterminations de la grandeur M physiquement possibles et non-instanciées.
(B) Ce qui n'est pas instancié ne peut pas avoir de relations particulières avec ce qui est instancié, c'est-à-dire ne peut pas former avec ce qui est instancié un état de fait relationnel particulier.
(C) Les déterminations non-instanciées de M sont donc indiscernables par leurs relations, puisque toutes sont dans le même faisceau de relation r_m.
(D) Donc les déterminations non-instanciées de M ne sont pas suffisamment déterminées par leur relations, ce que signe l'échec de la théorie relationnelle.

Nous allons répondre à cet argument en niant la prémisse 1. et l'existence de déterminations physiquement possibles de M qui ne sont pas le cas, et donc défendre la thèse que toutes les déterminations physiquement possibles d'une grandeur physique M sont instanciées. Cette thèse est hautement contre-intuitive, dans la mesure où l'on pense ordinairement que toutes les déterminations d'une grandeur continue comme la Masse ne correspondent pas à des cas particuliers actuels. Pourtant, (la plupart de) ces déterminations non-actuelles sont *physiquement* possibles, si leur occurrence n'est interdite par aucune loi de la nature. La déterminité de ces déterminations ne peut alors pas être analysée par la théorie DVQ, et l'argument modal de Swoyer lui porte un coup fatal. On s'aperçoit aussi pourquoi nous, qui défendons DVQ, ne pouvons pour nous défendre que nier (a), dans la mesure où pour nous l'occurrence d'une propriété équivaut à sa détermination, et que par conséquent, une détermination de la Masse qui serait sans occurrence n'est pas acceptable.

Or, la raison que nous allons avancer pour nier (a) nous permettra en même temps de répondre à la troisième critique d'Armstrong, à laquelle nous passons maintenant. Nous avons expliqué dans la section 2.2.2. que la solution relationnelle pour répondre à la deuxième critique d'Armstrong nous condamnait à tomber sous le coup de sa troisième. C'est pourquoi nous devons maintenant voir si l'ombre de cette critique porte sur notre théorie DVQ.

3.2.3. La thèse de l'Actualité de toutes les Possibilités Physiques (APP).

La troisième critique d'Armstrong était dirigée contre l'analyse d'une masse déterminée comme un fait relationnel. Elle consistait à imaginer deux situations physiques possibles où le fait qu'un objet possède sa masse particulière ne pouvait manifestement pas être un fait relationnel. Dans la première fiction, l'univers ne comporte qu'un seul objet massif, qui ne peut par conséquent avoir aucune relation à un autre objet. Et pourtant, n'a-t-il pas une masse déterminée ? Dans la seconde, on considère la masse totale de notre univers (en imaginant qu'elle soit finie), qui peut à son tour être pris pour un objet unique

et sans relation. Armstrong expliquait que si une masse particulière n'est déterminée que par toutes les relations à toutes les autres déterminations de masse, alors la masse de cet objet (ou la masse totale de l'univers) manquerait de détermination, puisqu'elle n'aurait pas de relation à toutes les masses supérieures. En généralisant le principe de la critique, on peut dire *qu'il suffit* qu'une seule masse déterminée, parmi toutes les masses déterminées physiquement possibles, ne soit pas actuelle, pour que n'importe quelle autre masse manque de détermination, dans le cadre posé par la théorie relationnelle.

Commençons par dire pourquoi nous sommes contraints de soutenir maintenant la thèse (APP) que toutes les masses déterminées physiquement possibles sont actuelles, pour des raisons de cohérence interne de la théorie DVQ. Ensuite, nous ferons une distinction cruciale entre deux sens de « être actuel », pour montrer que le sens où nous soutenons que toutes les déterminations d'une grandeur le sont, n'est pas si déraisonnable qu'il y paraît d'abord. Enfin, nous renverrons à divers passages ultérieurs de ce travail où cette thèse ontologique forte recevra des justifications en bonne et due forme.

Nous sommes contraints de soutenir cette thèse pour une raison essentielle à l'interprétation structurale de la théorie DVQ, qui en fait une théorie relationnelle de la détermination. Si toute détermination est relationnelle, et si d'après DQ toute instanciation est une détermination, alors toute instanciation est relationnelle. Par exemple, si cet objet est une masse de 3 kg, alors cette masse ne consiste qu'en un faisceau de faits relationnels comme « être deux fois plus massif que la détermination particulière '1,5 kg' », « être deux fois moins massif que '6 kg' », etc. Comme l'explique Armstrong, cela peut poser problème dans la mesure où ces autres masses déterminées peuvent ne pas exister dans l'univers actuel. Or notre situation est bien pire, puisqu'il apparaît que *pour que* toute masse déterminée existe actuellement dans l'univers, et *comme* elle est essentiellement un faisceau de relations avec toutes les autres masses déterminées, *alors il faut que* toutes ces autres existent aussi actuellement dans l'univers. Autrement dit, si toute instanciation est relationnelle, alors toute détermination physiquement possible de la grandeur M est une instanciation *actuelle* de la propriété m. La théorie relationnelle de la détermination est donc contrainte à admettre cette thèse, que nous appelons la thèse de l'Actualité des Possibilités Physiques (APP) :

> *(APP) : toute détermination physiquement possible d'une grandeur naturelle M est actuelle ou bien n'est pas physiquement possible.*

Tâchons maintenant de rendre cette thèse la moins improbable possible, en faisant une distinction cruciale entre deux sens de « actuel ». Nous pouvons entendre l'« actualité » d'une détermination en deux sens, que nous avons déjà rencontrés dans le chapitre II à propos de la théorie des tropes de Donald Williams, car ils sont liés en réalité à deux sens très distincts d'« instanciation » (chapitre II, section 1.2.).

Dans le sens technique et précis, un particulier est une instance d'une propriété quand il est un cas particulier de cette propriété. Maintenant, rien n'indique que dans ce sens-là, il faille décrire l'instanciation dans les termes d'une théorie des états de choses ou bien dans ceux de la théorie des tropes. Nous avons argumenté en faveur d'une théorie des tropes quantitatifs, qui voit dans les instances d'une propriété des particuliers abstraits (Chapitre III). C'est en ce sens d'instance qu'un trope de sagesse est désigné par Williams comme une « instance abstraite » de la Sagesse. C'est en ce sens-là d'instance que nous parlerons, pour notre part, d'instance actuelle. Nous dirons qu'une détermination de la grandeur M est actuelle lorsqu'il existe un *abstractum* particulier *a* qui est un cas particulier de la propriété m *et qui est* cette détermination de M.

Williams admet un autre sens d'instance, *l'instance concrète* de la propriété m, qui désigne le particulier concret ou individu comme sujet d'attribution du prédicat « m ». C'est en ce sens que Socrate est dit « sage ». Or chez Williams comme chez tout partisan des tropes, Socrate est sage mais n'est pas au sens rigoureux une instance de sagesse. Il est sage parce qu'en lui est présent un trope qui est bel et bien un cas particulier de sagesse. En revanche, un tenant des universaux et états de choses pense que les deux significations d'instance se réfèrent ontologiquement à la même chose, à savoir l'individu ou particulier concret qui à la fois, au sens technique instancie la sagesse, et est ce qui est dit sage. Ce n'est donc que pour le tenant des universaux et états de choses, que le premier sens d'« instance » (comme cas particulier) implique le second (comme objet concret sujet d'attribution). Il n'y a en tout cas aucune obligation à penser qu'une instance particulière d'une propriété m est une instance *concrète* de m.

Pour un tenant des tropes, un objet concret instancie une propriété seulement au sens où un trope de cette propriété est présent en lui. C'est pourquoi nous dirons maintenant qu'une détermination de la grandeur M est non seulement actuelle, mais *concrète*, lorsqu'elle est actuelle et présente dans un *concretum* particulier, déterminé par ses coordonnées spatio-temporelles. Par raccourci, et en admettant qu'avoir des coordonnées déterminées d'espace-temps est un bon critère pour être dit un objet *concret*, alors une détermination m_i de M est concrète si elle est compresent avec au moins des tropes d'espace-temps.

On conçoit alors tout à fait que toutes les masses déterminées puissent être actuelle *sans* qu'elles soient toutes *concrètes*. Il n'existe par exemple aucun objet concret dans l'univers qui possède une masse m_j supérieure à la masse de la totalité de l'univers, si une telle masse est finie. Nous dirons alors pourtant que m_j est physiquement réalisée, au sens où cette masse existe comme particulier abstrait, entièrement analysé comme faisceau de relations particulières à toutes les autres masses physiquement possibles (et donc actuelles). Mais nous dirons aussitôt que m_j n'est pas concrète, puisque que m_j n'est compresente avec aucun trope d'espace-temps. Elle n'existe simplement nulle part dans l'espace-temps. Comme toute notre théorie de la particularité vise entièrement à nous défaire du critère d'existence concrète dans l'espace-temps comme critère d'existence *particulière*, en le remplaçant par une théorie relationnelle de la détermination, c'est une des conséquences admirables de cette théorie d'admettre des particuliers non

spatio-temporels[63]. C'est par conséquent uniquement au sens de la réalisation physique, et non de la réalisation *concrète*, que nous affirmons avec (APP) que toute détermination physiquement possible d'une grandeur naturelle est actuelle. Cette thèse n'implique aucunement qu'il existe au moins un objet concret qui possède chacune de ces déterminations, ce qui serait très peu plausible.

A la fin de cette section, nous en arrivons donc à proposer, comme théorie des quantités dans la nature, une version structuraliste de la théorie DVQ des propriétés et de l'instanciation, développée dans le chapitre III. Une propriété quantitative ou grandeur physique est ainsi conçue comme une classe structurée de tropes, qui sont distincts en tant que déterminations différentes de la même propriété. Pour répondre aux réquisits d'une théorie adéquate des quantités, nous optons pour une analyse relationnelle et non substantialiste de la détermination des quantités, dans la veine de Bigelow et Pargetter. Mais pour répondre aux critiques d'Armstrong et de Swoyer, nous soulignons qu'en tant que tropes, les déterminations quantitatives ne sont pas des propriétés mais des particuliers. Elles sont des faisceaux de relations instanciées. Ainsi, en conformité avec la veine contemporaine du réalisme structuraliste ontique, nous accordons la priorité ontologique aux relations qui composent la structure, sur les objets qui en sont les *relata*. Nous avons défini ces relations comme des rapports de variation quantitative. Une quantité est particulièrement déterminée comme variation quantitative de toutes les autres déterminations de la même grandeur, ce qui nous a finalement conduit à admettre qu'une structure quantitative est entièrement instanciée (thèse APP).

Dans ce chapitre, nous avons explicité la teneur de la théorie DVQ comme théorie des quantités physiques, et l'avons défendue par deux nouveaux arguments. D'une part, DVQ est meilleure que les théories en présence parce qu'elle est extraordinairement plus économique. Elle ne postule, pour analyser une grandeur physique continue, qu'une seule propriété déterminable conçue comme un type quantitatif, et non un ensemble indénombrable de propriétés déterminées, auxquelles s'ajoute la propriété déterminable. D'autre part, DVQ est une théorie propre du quantitatif, au sens où elle n'est pas la sophistication d'une théorie préalablement conçue pour analyser les qualités, c'est-à-dire les propriétés qui sont telles que, si elles existent, leurs instances ne sont pas plus ou moins la même chose. Dans la suite, nous changeons totalement de stratégie pour défendre DVQ, en tachant de montrer qu'elle est nécessaire pour rendre compte de divers cas d'applicabilité des mathématiques aux phénomènes physiques, en commençant par la mesure.

[63] Pour une discussion très rapide du cas des tropes non spatio-temporels, voir (Campbell, 1990, p. 54) et (Moreland, 1985, p. 65).

Chapitre V : La mesure, approche opérationnelle

1. Introduction générale au problème de l'objectivité métrique.

Dans ce chapitre, nous voulons présenter l'ontologie DVQ proposée dans les chapitres précédents comme le fondement de l'applicabilité des mathématiques aux phénomènes naturels, et en particulier, comme le fondement de la mesure. Ce chapitre est donc une étape essentielle dans la construction de l'argument principal en faveur de DVQ ; il établit la prémisse (1) suivante :

(1) Si les mathématiques sont applicables, alors l'ontologie DVQ est vraie.
(2) Or les mathématiques sont applicables.
(3) Donc l'ontologie DVQ est vraie.

La prémisse (2) désigne un fait avéré par l'histoire des sciences et l'épistémologie. Si maintenant nous avons raison de penser que l'ontologie des quantités DVQ est le fondement de la possibilité de ce fait, alors nous aurons un fort argument en faveur de cette ontologie. Plus précisément, nous entendons dans ce chapitre donner une version particulière de l'argument, appliqué au cas de la mesure, c'est-à-dire de l'attribution de nombres aux phénomènes. Il s'agira donc de justifier une prémisse (1') :

(1') Si les structures numériques sont applicables aux phénomènes mesurés, alors l'ontologie DVQ est vraie.

Dans cette version particulière de l'argument, la justification d'une prémisse (2'), énonçant que les mathématiques requises pour la mesure sont applicables, se fait aussi par le recours à l'histoire de la physique. L'application effective des mathématiques aux phénomènes, dans le cas de la mesure, est un fait constaté depuis la révolution scientifique des 16ème et 17ème siècles, sous le terme de « mathématisation des phénomènes ». Par cette expression, on entend couramment que les faits empiriques considérés par les scientifiques ne sont plus seulement et principalement des faits perçus par les sens, mais des faits construits par l'utilisation d'instruments de mesure. Les phénomènes particuliers, pris comme les cas particuliers d'une propriété physique *m* intéressante, sont *constitués* comme quantités déterminées. Ces quantités sont, lors des mesures, estimées par des nombres suivis d'une unité. Ces nombres suivis d'une unité sont interprétés enfin comme les valeurs d'une grandeur physique *M*, censée représenter la propriété physique *m*. Depuis la mathématisation du temps et de l'espace par Galilée, la mathématisation des phénomènes s'est historiquement imposée comme un fait scientifique et

épistémologique fondamental. Si nous parvenons maintenant à montrer pourquoi nous pouvons tenir l'ontologie DVQ pour la condition de possibilité de ce fait, alors nous tiendrons un très fort argument pour la défendre.

Cet argument est d'inspiration totalement kantienne. Il s'appuie entièrement sur une démarche régressive, menée dans ce chapitre et le suivant, et qui part du fait de l'application effective des mathématiques pour aller au fondement ontologique de la possibilité de ce fait. En ce sens, l'argument peut être dit transcendantal, puisqu'il s'agit d'atteindre des conclusions métaphysiques concernant la nature des particuliers, des propriétés et de l'instanciation, comme autant de *conditions de possibilité* de faits épistémologiques attestés[64]. En revanche, Kant ne serait certainement pas d'accord pour que la démarche transcendantale aboutisse à une doctrine portant « le nom orgueilleux d'ontologie ». Le raisonnement transcendantal kantien part du fait de la connaissance scientifique des objets empiriques pour remonter plutôt à l'activité des facultés subjectives et aux catégories de l'entendement qui la conditionnent[65]. De notre côté, nous pensons montrer que les phénomènes sont mathématisables en raison de la nature de ce qu'ils sont, c'est-à-dire pour des raisons ontologiques.

Dans la suite de cette introduction, nous commençons par expliquer notre approche par l'objectivité de la mesure, en la distinguant clairement de l'approche naturaliste contemporaine. Ensuite, nous présentons dans ses grandes lignes le problème de l'objectivité métrique comme problème de la mesurabilité des propriétés physiques. Enfin, et comme notre objectif final est de montrer à quelles conditions ontologiques, portant sur la nature des particuliers mesurés, ce problème est résolu, nous montrons comment ce problème s'articule avec les discussions ontologiques contemporaines concernant les objets de la mesure. Nous finissons par donner le plan des deux chapitres, le présent et le prochain, portant sur la mesure.

1.1. La mesurabilité des propriétés physiques. L'approche par l'objectivité contre le naturalisme.

Si les mathématiques sont applicables en physique, ce peut être pour des raisons tenant aux mathématiques (à la nature de leurs objets, ou bien à une capacité de leur langage) ou bien pour des raisons physiques : peut-être que les objets étudiés par la physique sont tels qu'ils se laissent adéquatement représentés par les objets mathématiques (Islami, 2016). Nous allons en effet soutenir une

---

[64] Nous utilisons le terme « transcendantal » en un sens proche de celui que lui donne Kant ici, dans la *Critique de la raison pure* : « Je nomme transcendantale toute connaissance qui s'occupe en général moins d'objets que de notre mode de connaissance des objets, en tant que celui-ci doit être possible a priori. Un système de tels concepts s'appellerait philosophie transcendantale » (Kant, 2006, p. A11 B26).

[65] Kant évoque le « nom orgueilleux d'ontologique en A247/B303. Aussi n'utilisons-nous pas le terme « transcendantal » dans le sens où il le définit ici :: « Le mot « transcendantal » […] chez moi ne signifie jamais un rapport de notre connaissance aux choses, mais uniquement une relation à la faculté de connaître » (Kant, 1997, p. 59 §13).

thèse de cette sorte, en affirmant que les mathématiques sont adéquates pour représenter les objets physiques parce que ceux-ci sont *des quantités*.

Toutefois, il faut débrouiller une profonde ambiguïté attachée à cette sorte de thèse, que l'on peut approcher par une objection : ne pourrait-on pas, en effet, nous reprocher de commettre une pétition de principe ? Si l'on pense que la mathématisation des phénomènes est rendue possible parce que les phénomènes sont tels ou tels plutôt qu'autrement, c'est-à-dire pour des raisons *physiques*, alors appliquer les mathématiques à des phénomènes, c'est asserter qu'ils sont ainsi plutôt qu'autrement. L'application des mathématiques implique donc un certain nombre d'énoncés à propos des phénomènes mathématisés, pris pour vrais par qui les mathématise. Autrement dit, les mathématiques sont applicables si et seulement si ces énoncés empiriques, concernant des objets physiques et leurs propriétés, sont vrais. Ces énoncés, par exemple, concernent les propriétés et relations que doivent avoir entre eux des particuliers massifs pour être mesurés au sein d'une échelle pour la grandeur Masse. La vérité de ces énoncés empiriques fonde l'application des nombres à la mesure de ces phénomènes. Par conséquent, si dans la prémisse (2) ou (2') de notre argument, nous prenons l'application des mathématiques pour *un fait*, alors nous transformons les postulats empiriques qui la fonde en vérités définitives, et présupposons dès le départ ce que nous prétendions atteindre en conclusion.

Pour répondre à cette objection contre l'ensemble de notre démarche, il faut distinguer deux sens auxquels on peut entendre que les mathématiques sont applicables « pour des raisons physiques », qui sont aussi deux significations attachées à l'expression « théorie des quantités ». En un premier sens, qui est celui présumé par l'objection, certains objets ou structures mathématiques *en particulier* seraient applicables parce que les objets physiques sont tels que les décrivent un certain nombre d'énoncés empiriques, qui sont souvent des généralisations et idéalisations permettant aux scientifiques de mathématiser ces phénomènes. En particulier, les structures *numériques* seraient applicables aux phénomènes mesurés, parce que certains d'énoncés concernant les propriétés des relations entre ces phénomènes sont vrais. Cet ensemble d'énoncés peut être pris comme formant une théorie physique rudimentaire, qu'on peut appeler « théorie des quantités », que les physiciens formulent pour expliciter les conditions physiques de la mesure. A partir de ces définitions, on peut motiver une approche naturaliste des quantités et des fondements ontologiques de la mesure. C'est exactement ce que l'on trouve chez (Swoyer, 1987) et (Mundy, 1987), pour qui les « théories des quantités » sont des théories physiques, qui font des hypothèses sur les conditions physiques et ontologiques de la mesure, et qui sont testables et confirmables empiriquement – nous y reviendrons longuement dans le chapitre suivant.

Nous accordons bien volontiers que les scientifiques doivent faire des postulats empiriques concernant les propriétés et relations physiques des objets mesurés, pour fonder l'utilisation qu'ils font des concepts numériques. Depuis la fin du 19ème siècle, des efforts essentiels ont été faits, au sein même

de la communauté scientifique, pour expliciter et formuler le plus clairement possible ces postulats[66]. Grâce à ces éclaircissements successifs, on sait aujourd'hui que pour appliquer à une classe de phénomènes une échelle numérique munie de l'addition, nous devons postuler que ces phénomènes ont entre eux des relations fondant cette additivité – nous y reviendrons. Toutefois, ces « théories physiques rudimentaires » (l'expression est de (Mundy, 1987)) ne nous donnent jamais les fondements de l'applicabilité des mathématiques (des structures numériques) *en général*, mais toujours les raisons empiriques de penser que *cette* structure numérique *particulière* (par exemple, les réels munis de l'addition) plutôt que *telle autre* (par exemple, les seuls entiers positifs) est applicable pour mesurer *cette* propriété. Il apparaît clairement que si l'utilisation d'une échelle numérique particulière, où l'on accorde par exemple une signification à l'opération d'addition, est fondée, ce fondement doit être donné par une théorie de la propriété physique *m* concernée. Cette théorie contient des énoncés qui sont des généralisations et idéalisations concernant les particuliers empiriques qui tombent sous cette propriété *m*, et qui donnent les raisons physiques pour quoi elle est représentable par la grandeur M. Dès lors, nous n'avons pas affaire à une théorie ontologique « des quantités », mais à une théorie physique de la grandeur M.

Notre démarche est très différence de ce programme naturaliste en métaphysique des quantités. Nous ne nous prétendons pas ici faire une théorie des quantités, qui expliquerait pourquoi les propriétés *m, n, p*, sont représentables par leurs échelles numériques respectives. Cette tâche est accomplie par les personnes compétentes, c'est-à-dire les physicien-ne-s et, à les croire, les métaphysicien-ne-s naturalistes. Nous voulons proposer une théorie métaphysique des quantités qui explique pourquoi les structures numériques *en général* sont utilisables pour représenter les phénomènes physiques, et cela indépendamment des raisons physiques et formelles pour quoi telle structure est plus adaptée qu'une autre pour représenter telle propriété. La « théorie des quantités » qui en ressortira ne sera donc pas à prendre pour une théorie physique, assujettie aux mêmes contraintes de test et confirmation empiriques que d'autres théories physiques. Ce sera une théorie des quantités en général, et non de la quantité *m,* ou de la quantité *n* ; une théorie qui fonde sur la nature ontologique générale des propriétés physiques (i.e. leur nature quantitative) la possibilité de les mesurer.

Or, dès que l'on considère l'application des structures numériques en général, il nous apparaît qu'il ne suffit pas, pour la fonder, de formuler des postulats empiriques généraux qu'il faudrait supposer vrais des phénomènes physiques mesurés. Il faut passer de la vérité de ces postulats empiriques à la question de l'objectivité dans les représentations mathématiques.

---

[66] Voir (Helmholtz, 1887), (Hölder, 1996) et aussi (Michell, 1993) pour un aperçu historique.

1.2. Le problème de l'objectivité de la mesure.

Pourquoi les phénomènes physiques sont-ils mathématisables, c'est-à-dire représentables mathématiquement ? L'étude du fondement de la mesure n'est pas seulement un cas particulier de cette question, c'est aussi un moyen de la préciser considérablement. Dans son cas, la question de la mathématisabilité des objets physiques devient celle, bien plus précise et étudiée, de la *mesurabilité* de ces objets. Dans ce chapitre, nous appelons « objet de la mesure » simplement *ce qui est mesuré* dans et par une mesure. Nous utilisons ce terme seulement pour désigner l'objet de l'estimation qui a lieu dans une mesure, par exemple ce qui est désigné par les « 3 kilogrammes » que l'on attribue à ce sac de farine. Les objets de la mesure sont donc des entités ou phénomènes physiques, mais dont la nature ontologique est pour l'instant encore indéterminée ; en particulier, nous n'utilisons pas le terme « objet » au sens ontologique « d'objet particulier concret », où il est parfois utilisé par opposition à « propriété » ; et nous pourrons très bien envisager tour à tour que les objets de la mesure soient des particuliers manipulés par les opérations de mesure, ou bien leurs propriétés. Seconde précision, le terme neutre « objet » ne comporte ici aucune connotation d'objectivité : ils sont seulement les entités physiques auxquelles on applique des nombres par la mesure, et nous ne savons précisément pas encore ce que signifie qu'une mesure est « objective », ni à quelle condition elle l'est. Expliquons-le maintenant.

Posons que la mesure est *objective* lorsque nous pouvons accorder à certains aspects de la représentation mathématique (l'échelle de mesure) une signification physique. On dit alors que l'échelle de mesure contient des informations significatives concernant les objets mesurés. Cela signifie que, malgré les conventions de mesure que doivent faire les scientifiques, et donc la diversité des systèmes de représentation possibles, ces derniers contiennent des informations physiques objectives. Lorsqu'une telle objectivité dans la mesure est possible malgré les choix conventionnels que l'on doit faire pour construire une représentation mathématique, on dit que l'objet représenté est mesurable. On s'appuie ici sur ce que dit Norman Campbell :

> La masse, la densité, la dureté, la couleur, la beauté. Les [deux] premières qualités sont indéniablement susceptibles d'être mesurées. Concernant la dureté, il est difficile de dire si elle peut ou non être mesurée, car malgré l'usage répandu de divers systèmes pour la mesurer, on estime généralement qu'aucun d'entre eux n'est pleinement satisfaisant. La couleur ne peut pas être mesurée comme les autres le peuvent, c'est-à-dire qu'il est impossible de dénoter la couleur d'un objet par un nombre unique, qui peut être déterminé sans plus d'arbitraire que dans l'attribution d'un nombre pour représenter le poids ou la densité. Enfin, la beauté ne peut certainement pas être mesurée, à moins d'admettre comme on le pense souvent aujourd'hui qu'elle est déterminée par la valeur de marché. Quelle est alors la différence entre ces propriétés, qui détermine la possibilité ou l'impossibilité de les mesurer ? (Campbell, 1920, p. 268)

Nous comprenons grâce à Campbell pourquoi le terme « mesurabilité » permet de préciser considérablement celui, trop vague, d'applicabilité des mathématiques. Car, si l'on définit la mesure comme l'application des nombres (de systèmes numériques choisis) à des objets physiques, alors les mathématiques sont trivialement applicables. Il suffit d'attribuer arbitrairement un nombre à chaque particulier d'une classe d'objets, c'est-à-dire une place dans un système numérique. Par exemple, chaque visiteur d'une exposition peut attribuer une note à chacune des œuvres présentes dans une salle thématique, pour évaluer la beauté, la justesse ou la force avec laquelle elle se saisit d'un thème donné. Ce visiteur aura donné une expression numérique de la beauté, de la justesse ou de la force de ces œuvres, mais aura-t-il véritablement mesuré ces propriétés ? Ou encore, l'administration d'un pays peut assigner au hasard à chaque citoyen-ne un nombre entier positif, appelé « numéro de sécurité sociale ». Il en résulte un classement complet de tous les citoyens du pays. Pourtant, nous ne pouvons pas plus dire que cette échelle numérique représente quoique ce soit d'objectif et de significatif[67]. Dans ces deux exemples, les concepts numériques sont appliqués à des objets, mais les représentations mathématiques construites n'ont aucune autre signification que conventionnelle. Les mesures de ces objets ne sont pas objectives. Au contraire, lorsqu'une propriété physique est mesurable, les aspects arbitraires et conventionnels dans l'établissement d'une représentation métrique n'entament pas sa capacité à représenter des traits objectifs des objets mesurés. Lorsque les mathématiques sont utilisées ainsi pour former une représentation objective des objets physiques, nous dirons en général que leur application est effective, ou contient une effectivité représentative (*representative effectiveness*). Dans le cas particulier de la mesure, l'effectivité représentative des structures numériques appliquées est donc équivalente à la mesurabilité des propriétés physiques représentées.

Le concept de mesurabilité est donc central dans la démarche. Nous venons de voir avec Campbell qu'il y a une équivalence entre le fait de dire que la mesure de certains objets est *objective*, et le fait de dire ces objets *mesurables*. Cela signifie que le fondement de la possibilité de la représentation mathématique des phénomènes est à rechercher dans une caractéristique des *objets physiques mesurés*, caractéristique qui les rend mesurables. C'est par ce biais que nous allons atteindre l'ontologie des objets de la mesure. En effet, bien que nous fassions toute leur place dans la suite à la dimension opérative et constructive de la mesure, si la construction d'échelles métriques objectives est *possible*, cela tient à une caractéristique des objets physiques eux-mêmes. Le problème des conditions l'objectivité métrique nous

[67] On lit fréquemment, dans la littérature anglo-saxonne sur la mesure, le cas du Numéro de Sécurité Sociale comme exemple d'application non objective des nombres, dans la mesure où il ne correspond pas à une propriété quantitative et mesurable, et ne pourvoit pas d'information objective sur l'individu qu'il représente (surtout depuis que ce numéro est attribué complètement aléatoirement (juin 2011 aux USA)). En France, les chiffres composant le numéro de sécurité sociale ont une signification : le premier indique le sexe, les deux suivants l'année de naissance, etc. Le numéro entier n'est donc pas aléatoire et convenablement lu, il est porteur de signification. Mais pris entièrement, comme nombre à treize chiffres, ses propriétés numériques globales (le fait d'être inférieur ou supérieur à un autre par exemple) ne sont pas systématiquement interprétables. On doit cesser de le voir comme un nombre, et le décomposer selon des règles connus, pour y lire des informations.

conduira donc à caractériser ontologiquement la mesurabilité d'un objet : que doit être la nature ontologique de l'objet mesuré, pour que sa mesure soit objective ? Notre but est de montrer que cette mesurabilité implique que la théorie de l'instanciation proposée dans les chapitres précédents est vraie, puisqu'elle formule ses conditions ontologiques.

Comment procéder ? Nous avons dit à l'instant que l'objectivité de la mesure était ce que qu'elle contenait de physiquement significatif *malgré* le caractère arbitraire ou conventionnel de certains choix. C'est pourquoi dans son ensemble notre démarche se divise en deux temps, qui suivent une classification de ces choix en choix de *construction* ou bien choix de *représentation*. D'abord, dans ce premier chapitre sur la mesure, nous étudions les conventions liées à la construction d'un système concret de mesure : choix de l'étalon, détermination d'une opération de mesure avec un instrument. Ensuite, dans le chapitre suivant, nous considérons les conventions qui établissent une représentation numérique : choix d'assigner le nombre « 1 » à l'unité, choix d'une structure numérique (ordinale, additive, multiplicative).

1.3. Structure : objectivité, ontologie et prédication.

Mais avant de commencer l'étude des conditions de l'objectivité de la mesure, et comme nous allons croiser souvent le terme « structure », nous devons préciser comment cette étude s'articule avec notre projet global de donner au structuralisme contemporain son ontologie adéquate. En effet, comme nous le verrons en détail au cours de ces deux chapitres, la réponse généralement admise au problème de l'objectivité métrique est une caractérisation ontologique structurale des objets mesurés. La thèse qui se dégage des théories de la mesure développées depuis la fin du 19ème siècle est structuraliste : les objets de la mesure sont effectivement mesurables si et seulement s'ils entrent les uns vis-à-vis des autres dans des relations aux propriétés formelles adéquates, c'est-à-dire forment une structure apte à être représentée par tel ou tel système numérique. Il est utile de voir comment cette thèse structurale, qui porte avant tout sur les conditions d'objectivité des représentations métriques, s'articule avec des considérations ontologiques.

1.3.1. Richesse de la structure et mesurabilité.

Premièrement, il y a une articulation entre la richesse en relations de la structure d'objets et le nombre d'aspects objectifs, physiquement significatifs, de sa représentation numérique. Posons par avance les trois principaux types de structures (Swoyer, 1987, p. 246). En premier viennent les structures *ordinales*, qui sont simplement formées par des objets entre lesquels vaut une relation d'ordre (antisymétrique et transitive). Ces structures peuvent être représentées objectivement par le système des entiers naturels. On prendra comme exemple récurrent l'échelle de Mohs, qui permet de classer les matériaux selon leur dureté. En second, les structures *extensives* sont formées par des objets ordonnés

entre lesquels vaut aussi une relation définissant leur additivité (on l'associe alors à une opération de concaténation), et nous verrons que ces structures sont objectivement représentées par tout le système des nombres réels, munis ordinairement de l'addition. La plupart des grandeurs physiques fondamentales sont additives, comme la Masse, la Charge, la Distance, etc. Enfin et entre les deux, on définit aussi des structures *d'intervalle*, pour ces grandeurs que l'on dit souvent *intensives* comme la Température ou la Densité, dont les magnitudes ne peuvent pas être additionnées.

Les grandeurs additives, représentées par des structures extensives, sont souvent considérées comme les cas parfaits de propriétés mesurables. On pose alors d'ordinaire une question, tant épistémologique qu'ontologique, concernant l'extension que l'on donne au concept de propriété mesurable : faut-il tenir pour mesurables les propriétés qui ne sont objectivement représentées que par des structures d'ordres, ou même par des structures d'intervalles ? Autrement dit, les structures d'ordre, mais aussi les structures d'intervalles, caractérisent-elles des propriétés authentiquement mesurables ?

Campbell tient par exemple une position extrême sur cette question, qui affirme que seules les grandeurs additives correspondent à d'authentiques propriétés mesurables (*cf* chapitre VI section 2.2.2.). Pour lui, il est possible de construire des grandeurs intensives (voire des échelles ordinales) qui sont objectives, mais les propriétés physiques qu'elles représentent ainsi sont réductibles (en principe sinon de fait) à des propriétés extensives sous-jacentes. Il parle alors de « grandeurs dérivées » (« *derived magnitudes* » p. 275). Par exemple, la densité est réductible, par une définition, à un quotient de la masse sur le volume, qui sont des quantités additives[68]. Campbell semble affirmer, comme un principe général, que seules les grandeurs additives correspondent à des propriétés véritablement mesurables, mais ses arguments ne sont pas très clairs. Il montre bien que *certaines* grandeurs intensives sont réductibles à des extensives, mais pas toutes, donc cette raison n'est pas générale. Nous proposerons dans le chapitre suivant une lecture plus charitable de sa position extensionaliste, en montrant qu'on y trouve un argument qui s'appuie sur la représentativité des échelles numériques.

A l'extrême opposé du spectre, des positions plus libérales comme celle d'Ellis défendent l'objectivité de certaines échelles ordinales. L'existence d'un ordre objectif entre objets (comme celui de la dureté des matériaux) permet de distinguer une échelle ordinale objective d'une artificielle et purement arbitraire (comme le classement selon le numéro de sécurité sociale), donc il y a des échelles ordinales qui correspondent à des propriétés effectivement mesurables (Ellis, 1966). Entre les deux extrêmes, de nombreux auteurs excluent les échelles ordinales du champ de l'objectivité, arguant qu'un ordre entre objets doit survenir sur une structure plus complexe pour être objectif – nous y reviendrons ;

[68] On peut penser au cas de la Température qui est une grandeur intensive, dont la réduction à des grandeurs extensives peut paraître plus compliquée. D'une part, ce n'est pas par une définition, mais par ce qu'Hempel appelle des « lois-ponts » qu'on réduit la Température à l'énergie cinétique moyenne des molécules (Nagel, 1961, p. 352) (Sklar, 1967). Mais surtout, d'autre part, se pose la question de savoir si les quantités *moyennes* sont additives au même sens que les quantités individuelles, et donc s'il s'agit d'une réduction en bonne et due forme de l'intensif à l'extensif.

mais en même temps, acceptent les structures d'intervalle comme celle de la Température, sans leur imposer *a priori* de réquisit de réduction à des structures extensives.

1.3.2. Opposition de deux ontologies de la mesure.

La seconde façon dont la thèse structurale sur l'objectivité métrique s'articule à l'ontologie est la plus importante, car elle trace une ligne qui divise les deux positions ontologiques principales sur la question du fondement de la mesure. Une représentation métrique est objective si elle décrit les aspects structuraux de la classe des objets physiques mesurés. Mais cette thèse sur l'objectivité laisse à première vue indéterminée la question de savoir quelle est la nature ontologique de ces objets mesurés. Il est devenu courant de distinguer et d'opposer des analyses relationnelles-empiristes et des positions réalistes sur les magnitudes conçues comme propriétés monadiques. Présentons rapidement ces deux approches, avant de démêler ce qui en elles touche aux conditions de l'objectivité de la mesure et ce qui relève de l'ontologie.

1.3.2.1.Opposition de deux ontologies de la mesure.

D'un côté, la théorie empiriste-relationnelle, défendue notamment par (Ellis, 1966) et (Nagel, 1931), identifie les objets de la mesure non pas à des propriétés, mais à des structures d'objets particuliers, empiriques et manipulables. Les différentes places dans une échelle de mesure sont des artifices de représentation qui désignent des objets compris dans leur structure empirique. Par exemple, l'échelle qui étage les différentes masses déterminées en kg ne désigne objectivement, dans la réalité, rien d'autre qu'une structure entre corps empiriques massifs. Cette position est aussi, en général, une position ontologique nominaliste : les objets de la mesure sont assimilés aux objets concrets que l'on manipule dans les mesures (par exemple, à l'objet massif qui est placé sur un plateau d'une balance) ; et les relations composant la structure, à celles construites par des opérations concrètes par lesquels les objets sont comparés entre eux ou soumis aux procédures de mesure.

A l'opposé, la position du réalisme des magnitudes-propriétés identifie les magnitudes d'une grandeur à des propriétés possédées par les particuliers concrets. Selon elle, ce qui est mesuré (l'objet de la mesure), n'est pas l'objet concret et manipulé mais une propriété qu'il possède. Par conséquent, une échelle de mesure pour une grandeur M est interprétée comme la description mathématique d'une structure réelle de propriétés déterminées, auxquelles sont identifiées les magnitudes de cette grandeur. Par exemple, l'échelle de mesure de la Masse décrit la structure réelle des propriétés correspondant aux différentes déterminations de cette grandeur : 0 kg, 1 kg, π kg, 10^45 kg, etc. Un objet massif a une masse déterminée lorsqu'il instancie l'une de ces propriétés.

Ces deux positions sont donc deux approches structuralistes des objets de la mesure : mais la première les identifie aux *particuliers* empiriques concrets, dont on construit opératoirement les relations, tandis que la seconde les identifie aux *propriétés* déterminées que possèdent par eux-mêmes ces particuliers. La distinction entre les deux est parfois présentée en parallèle avec les différentes théories ontologiques sur la nature de l'espace-temps (Swoyer, 1987), et l'analogie est utile. D'un côté, la théorie relationnelle de l'espace-temps dit qu'il ne consiste qu'en des relations spatio-temporelles (de situations relatives et de distances) entre des objets (en l'occurrence, des corps), et qu'il ne faut par conséquent accorder aucune signification physique propre aux points de l'espace géométrique, qui ne sont que des artefacts de représentation. De façon similaire, la théorie empiriste-relationnelle des propriétés mesurables dit qu'elles consistent en des structures d'objets empiriques, et que les différentes places dans l'échelle de mesure sont des artifices qui ne peuvent désigner que des particuliers empiriques. A l'opposé, la position substantialiste sur l'espace-temps affirme qu'il existe une structure physique spatio-temporelle de points et de propriétés (localisations, distances, etc.), adéquatement décrite par une représentation géométrique, et que les objets physiques (les corps) prennent place dans ce contenant structural. Parallèlement, la théorie des magnitudes-propriétés postule l'existence de structures de propriétés déterminées, et considère qu'un objet physique prend place dans une structure en instanciant une propriété déterminée.

1.3.2.2.Éclaircissement des problèmes.

L'opposition entre ces deux ontologies de la mesure est structurante dans les débats contemporains, mais pour mettre au clair les enjeux, tant méthodologiques, épistémologiques et ontologiques qui s'y mêlent, il est utile de faire deux mises au point : d'abord, distinguer entre le réalisme des propriétés dont il vient d'être question et le réalisme de la mesure (ou réalisme métrique) ; ensuite, distinguer entre la question de la nature ontologique des objets de la mesure (que nous posons) et l'analyse de la prédication métrique (qu'est-ce qui est prédiqué d'un objet quand on lui attribue une mesure ?) ; ces deux distinctions nous permettront d'isoler plus finement la seule question que nous posons vraiment, qui est l'ontologique : quel est véritablement la nature de l'objet de la mesure, de « ce qui est mesuré » ?

Premièrement, il faut nettement distinguer le réalisme ontologique, dont on vient de parler, du réalisme métrique, qui est une thèse épistémologique, voire méthodologique sur la mesure. Le réalisme métrique affirme que le résultat d'une mesure, menée selon une procédure bien définie, avec un instrument particulier, représente un trait objectif de l'objet mesuré ou du moins l'approche suffisamment, et que l'amélioration de la précision de nos instruments permettra certainement d'approximer encore plus la valeur précise qui représente parfaitement ce qui est mesuré. Le réalisme métrique s'oppose alors à une forme extrême d'antiréalisme qui fait de toute procédure de mesure une

pure construction dénuée de toute objectivité. Surtout, le réalisme métrique n'implique pas nécessairement le réalisme des propriétés dont nous venons de parler, et n'affirme finalement que ce que nous appelons l'objectivité métrique. Nous verrons en effet que le réalisme métrique peut très bien être défendu par une position ontologique empiriste-relationnelle sur la mesure comme celle d'Ellis (*cf* section 4.), et que les tentatives pour en faire dériver le réalisme des magnitudes-propriétés échouent (Chapitre VI, section 4.). Par conséquent, la thèse du réalisme métrique est présupposée plutôt qu'interrogée dans notre travail, puisqu'en la reformulant comme objectivité de la mesure, nous voulons en chercher les conditions ontologiques de vérité.

Deuxièmement, nous soupçonnons ces diverses approches concernant la mesure de mêler les enjeux ontologiques avec la question de savoir ce qu'on prédique véritablement dans l'énoncé qui attribue une mesure à un particulier. Lorsqu'on dit qu'un corps a une masse de « 3 kg », on désigne par le prédicat « 3 kg » soit un aspect intrinsèque de ce particulier, soit un fait relationnel l'impliquant avec d'autres (au moins un autre particulier servant d'étalon). Or il nous semble que cette question n'est pas directement ontologique, bien qu'elle ait des conséquences qui le sont. Globalement, on présente comme une avancée majeure de la théorie de la mesure l'abandon de l'idée selon laquelle les prédicats comme « 3 kg » désignent des aspects intrinsèques c'est-à-dire non-relationnels des particuliers. L'argument principal pour rejeter ces aspects intrinsèques avance que si c'était le cas, alors nous serions conduits à donner au nombre « 3 » une signification physique intrinsèque alors qu'il ne désigne manifestement qu'un rapport numérique établi par une relation de comparaison à un étalon. Il est donc généralement admis que ces prédicats ne peuvent objectivement désigner que des faits relationnels : des empiristes comme Ellis ou Nagel autant qu'un réaliste des propriétés comme Swoyer l'affirment à l'unisson.

Reste alors seulement, ouverte et cruciale, la question de la nature des objets de la mesure, c'est-à-dire de « ce qui est mesuré ». Dans l'énoncé « x mesure 3 kg », qu'est-ce qui joue le rôle de x ? Est-ce, comme l'affirme l'empiriste-nominaliste, un objet empirique et concret, celui qui sont effectivement manipulé lors de la procédure de mesure ? C'est par exemple ce sac de riz qui est posé sur le plateau d'une balance, et comparé à des masses standards. Ou bien est-ce, comme le pense le réaliste des propriétés, une magnitude possédée par ou présente dans ce particulier, et dans d'autres que lui ? Cette question décide de la réponse à la question de savoir si « ce que l'on mesure » a le statut ontologique d'un particulier (auquel on attribue une mesure) ou bien d'une propriété (qui est possédée par un objet). L'empiriste, souvent nominaliste, penchera du premier côté de la balance : l'objet de la mesure est un particulier concret. Le réaliste y verra une propriété.

1.3.2.3.Plan des deux prochains chapitres.

Dans la suite de ce chapitre, notre démarche se divise en deux temps. D'abord, nous étudions les conventions liées à la construction d'un système concret de mesure : choix de l'étalon, détermination

d'une opération de mesure avec un instrument. Ensuite, nous considérons les conventions qui établissent une représentation numérique : choix d'assigner le nombre « 1 » à l'unité, choix d'une structure numérique (ordinale, ou bien additive, multiplicative, etc.). Ces deux groupes de conventions correspondent aussi à deux manières bien différentes d'approcher l'application des mathématiques aux phénomènes, une approche de bas en haut, qui s'intéresse à la construction de système métrique à partir des objets concrets manipulés par les scientifiques (approche constructive), et une approche de haut en bas, qui considère globalement la représentation mathématique pour s'interroger sur sa capacité représentative (approche représentationnelle).

Ces deux approches n'ont évidemment rien d'incompatible, et elles nous permettent d'insister adéquatement sur des conventions de natures différentes dans la mesure. Il est cependant à noter que ces approches, avant tout méthodologiques, ont pu servir d'appui pour des projets épistémologiques plus marqués, aux présupposés ontologiques plus déterminés. C'est ainsi que l'approche constructive est, comme nous l'allons voir, le terrain privilégié de l'opérationalisme et de l'empirisme de la mesure en général. De son côté, l'approche représentationnelle est plus récemment utilisée pour déterminer l'engagement ontologique nécessaire à l'application des nombres aux phénomènes dans la mesure, et pour défendre un réalisme des magnitudes-propriétés. C'est pourquoi, en nous laissant guider par ces deux approches de l'application, constructive et représentationnelle, pour étudier comment l'objectivité métrique est atteinte malgré les conventions de mesure, nous pourrons discuter les positions ontologiques.

2. La construction des Systèmes de Référence Métrique (SRM) et l'échec de l'opérationalisme.

Dans ce chapitre, nous suivons l'approche opérationnelle de l'application des mathématiques aux phénomènes mesurés. Selon cette approche, c'est en suivant une règle, formulée en termes opératoires et observationnels, que l'on applique des concepts mathématiques (en l'occurrence, des concepts de nombres) aux particuliers que l'on mesure. Nous allons nous intéresser à la construction des échelles de mesure, pour dégager ce que nous appellerons des « réquisits d'objectivité », c'est-à-dire des présuppositions qu'il est nécessaire de faire pour prêter une signification physique objective aux résultats des mesures, c'est-à-dire à l'inscription de tout objet dans ces échelles. Pour cela, nous allons d'abord préciser quelles sont les « échelles de mesure » que nous considérons, dans cette approche opérationnelle, et avancer la notion de « Système de Référence Métrique » (SRM). Ensuite, nous considérerons successivement les deux conventions malgré lesquelles une échelle, conçue comme SRM, peut produire des mesures objectives.

2.1.Qu'est-ce qu'un SRM ?

La notion de Système de Référence Métrique est proposée en réponse à une ambiguïté inhérente à la notion d'échelle de mesure, qui a un sens concret et un sens abstrait. En son sens concret, une échelle de mesure décrit un système d'objets physiques particuliers, construit par les scientifiques à partir du choix d'un objet particulier comme étalon et de la définition d'une ou plusieurs opération(s) de mesure.

Nous utilisons le terme « étalon » en un sens très large pour désigner un particulier qui entre dans le domaine de la propriété physique mesurable, et dont on se sert comme point de référence pour la définition des opérations de mesure. Par exemple, le « mètre-étalon » peut désigner une barre de métal particulière, à laquelle il est fait référence dans la description de la règle de mesure des longueurs (en déplaçant cette barre le long d'un objet concret par exemple). A l'étalon est généralement associé le nombre « 1 », et l'on dit couramment que l'étalon fixe en même temps l'unité de mesure, mais cette confusion peut être malheureuse. D'une part, nous verrons dans le prochain chapitre que le choix de l'unité correspond à une autre convention, distincte de celle de l'étalon (il est tout à fait possible d'associer l'étalon au nombre 2, même pour mesurer une longueur).

Surtout, l'identification de l'étalon et de l'unité n'est tolérable que pour les grandeurs extensives où, pour le dire rapidement, mesurer revient par une opération à compter combien de fois on trouve l'étalon. Mais il y a des grandeurs où il est nécessaire de choisir non pas un, mais deux étalons, pour coordonner précisément les nombres et ce que l'on mesure. Par exemple, l'échelle de mesure de la température en degrés Celsius suppose de fixer la référence du 0 et du 100 par le choix de deux étalons ; ils ne sont pas du tout des unités de mesure, mais des points concrets de référence. On peut aussi prendre l'exemple de l'échelle de Mohs pour mesurer la dureté des matériaux. Elle est une échelle à dix places, numérotés de 1 à 10, qui décrit le système physique formé par les différents matériaux typiques servant à étalonner l'échelle (du talc, associé au nombre 1, au diamant, associé à 10) et une opération concrète de comparaison, le rayage. Un corps A est plus élevé qu'un corps B sur l'échelle de Mohs s'il le raye, au lieu d'être rayé par lui. Avec l'échelle de Mohs, on n'a pas un, ni deux, mais dix étalons, dans le sens que nous donnons à ce terme.

En sons sens abstrait, une échelle (*scale*) de mesure est la représentation mathématique d'une propriété physique. Elle est composée d'une structure numérique (par exemple, les réels positifs munis de l'addition) associée à un concept d'unité. Par exemple, c'est en ce sens qu'on dit que l'échelle de mesure de la masse est la structure des nombres réels positifs, munie de l'addition, et associée à un concept d'unité « kg ». C'est aussi en ce sens-là « d'échelles » qu'on les distingue selon leur capacité représentative : ordinales, d'intervalle ou additive (*cf* chapitre VI section 1.2.). Et en ce sens-là, une échelle est une représentation abstraite qui ne peut pas être directement appliquée aux phénomènes physiques particuliers. Il faut pour l'appliquer la coordonner via la définition d'opération(s) concrète(s) de mesure, et souvent, le choix d'un étalon particulier : c'est-à-dire qu'il faut construire une échelle

précisément au premier sens, concret. Pour éviter toute ambiguïté, nous réservons dans la suite le terme « échelle de mesure » ou « échelle métrique » pour désigner les *scales,* au sens abstrait de représentations mathématiques (numériques) assorties d'un concept d'unité.

Nous proposons, pour désigner les échelles au sens concret, le concept de Systèmes de référence métrique (SRM). Il est une généralisation à toutes les propriétés mesurables du concept de « référentiel » ou de « système de coordonnées » que l'on connaît bien pour les propriétés spatiales ou spatio-temporelles. Pour mesurer des distances et représenter des mouvements, on établit un référentiel en choisissant un système de corps fixes les uns par rapport aux autres, permettant de définir des directions dans l'espace et un intervalle spatial comme étalon de mesure des distances. On dispose alors d'un système physique « construit » par des relations attestées. Évidemment, il serait étrange de dire d'un référentiel astronomique qu'il est « construit », dans la mesure où aucun expérimentateur n'a disposé la sphère des fixes et le soleil de la manière où ils sont disposés dans un référentiel héliocentrique. Mais il est construit au sens où les relations de direction et de distance sont expérimentalement attestées. Un référentiel ou système de coordonnées décrit numériquement ce système physique construit.

De la même façon, un SRM pour toute grandeur physique est une description numérique d'un système physique qui consiste en un ou plusieurs particuliers, choisis comme étalons, et en une ou plusieurs opérations concrètes de mesure bien définies, impliquant l'usage d'instruments de mesure, aussi rudimentaires soient-ils. Par exemple, il suffit pour construire un SRM pour la mesure des longueurs de définir un étalon e, par exemple un bâton de bois, et une opération de mesure o, par exemple l'action de déplacer le bâton e le long d'un objet à mesurer, en comptant le nombre de fois où le bâton-étalon se trouve dans des positions adjacentes (Carnap, 1973). L'opération o permet donc de mesurer l'objet en le comparant à l'étalon e, et le résultat de cette opération est un nombre. En ce sens, la mesure est l'attribution de ce nombre à l'objet mesuré. Elle n'a de signification physique que relativement à l'opération o et l'étalon e. L'ensemble des résultats possibles de la comparaison d'un objet mesurable à l'étalon e, selon l'opération o, forme ce que nous appelons un SRM de la longueur.

On peut maintenant définir un SRM de façon générale. Par l'opération o, on peut construire un système physique formé par les objets e, m1, m2, m3, etc., où e est l'étalon et m1, m2 et m3 des objets mesurés, et les relations r1, r2, r3, etc., attestées entre ces objets par l'opération o. Par exemple, si l'objet m1 est comparé par o à l'étalon de longueur e, notre bâton, alors on a attesté d'une relation r1 entre m1 et E. Le système physique consiste donc en ces objets manipulés et ces relations construites opératoirement. Un SRM est la représentation numérique de ce système physique : il consiste en un ensemble N de nombres, où le nombre 1 est associé à l'étalon e, et où tout objet mesuré mi se voit attribué un nombre de cet ensemble en fonction du résultat de l'opération o qui établit la relation ri. Par exemple, si l'on attribue le nombre « 3 » à un objet mesuré, c'est que la comparaison de cet objet à l'étalon par l'opération o a établi une relation « trois fois plus long » avec e, qui est représentée par le nombre « 3 ». On dit alors en général que cet objet « mesure 3 e ». De façon générale, le nom de l'étalon

qui sert d'unité concrète de mesure figure après le nombre dans le SRM. On peut donc écrire tout SRM ainsi :

$$SRM_{e,o} = \{ne\}^{n \in N}$$

où N est l'ensemble des nombres que l'on se propose d'attribuer à des objets mesurables. Par exemple, avec l'échelle de Mohs, N est composé des entiers naturels de 1 à 10. Pour mesurer la masse des objets, on utilise en revanche ordinairement les nombres réels positifs. Dans un SRM, « *n e* » (pour tout n appartenant à N) est donc le résultat possible d'une mesure selon l'opération o. Dans la suite, nous appelons ces éléments d'un SRM qui sont les résultats possibles de mesure, des *déterminations métriques* : ce sont des mesures particulières de la propriété m qui sont des déterminations numérique de la grandeur M.

Pour le moment, nous choisissons de passer sous silence la question de savoir comment l'on associe les nombres avec l'ensemble des relations r1, r2, r3 etc. qu'ils représentent, nous la poserons à l'occasion de l'approche représentationnelle de la mesure qui est spécialement faite pour la traiter. Supposons, pour l'instant, que la façon dont une opération, et l'usage d'un instrument de mesure, atteste d'une relation entre l'objet mesuré et l'étalon, en lui attribuant un nombre particulier, est valide. Nous considérons donc que le résultat de l'opération de mesure est le nombre lui-même, même si en réalité il n'est d'abord que l'établissement d'une relation.

Par ces définitions, on s'aperçoit qu'un SRM établit un cadre de référence métrique pour toutes les mesures qu'on pourra effectuer. Dans le SRM de longueur composé de l'étalon e, l'opération o et des nombres réels positifs, le nombre « 1 » désigne l'étalon e, et tout nombre est susceptible de recevoir une interprétation physique : il peut désigner un objet mesuré mi, dès qu'on a opératoirement attesté la relation ri entre mi et E. Donc un SRM consiste en une structure numérique partiellement interprétée : certains nombres ont déjà été attribués à des objets effectivement mesurés, d'autres (la plupart) correspondent à des mesures possibles mais non encore effectuées. De la même façon, dans un référentiel pour mesurer des distances et des mouvements, les axes déterminent un ensemble de points identifiés par leurs coordonnées. Certains points reçoivent une interprétation physique s'ils correspondent à un corps effectivement placé dans le système physique représenté par le référentiel. On dit alors que le point du référentiel est « occupé », ce qui n'est pas le cas de la plupart des points du référentiel.

Il faut noter, enfin, quels sont les paramètres d'individuation d'un SRM : l'identité d'un SRM dépend du choix d'un étalon e et de la définition d'une opération concrète o (o peut désigner plusieurs d'opérations concrètes bien définies). On doit donc désigner un système de référence métrique en fonction de ces choix conventionnels : $SRM_{e,o}$. Un SRM construit avec une autre opération o' *ou* un autre étalon e' est un $SRM_{e',o'}$ distinct du premier. Le caractère conventionnel du choix de l'étalon et de

la définition de l'opération se traduit donc par la grande variété des SRM que l'on peut construire pour mesurer une unique propriété. Soient O l'ensemble des opérations que l'on peut définir, et E l'ensemble des étalons que l'on peut choisir, pour mesurer une seule propriété m. Nous appelons alors Espace Référentiel ER(m) de la propriété m l'ensemble des SRM possibles pour une seule propriété m, définit ainsi :

$$ER(m) = \{SRM_{e,o}\}_{e \in E, o \in O}$$

Nous pouvons maintenant nous poser la question de l'objectivité de nos mesures : que doivent être nos divers SRM possibles pour mesurer m, pour que malgré leur diversité engendrée par les choix et définitions conventionnels, ils permettent de capturer les traits objectifs des objets mesurés. Nous allons voir que cette objectivité exige que l'on pose des contraintes sur la diversité au sein de ER(m), c'est-à-dire sur les critères qui nous permettent de tenir deux SRM pour identiques ou distincts au sein d'un tel espace.

2.2.Les conventions opératoires de l'instrumentation.

Commençons par considérer la diversité des systèmes de représentation engendrée par le caractère conventionnel de la définition d'une opération concrète pour la mesure de la propriété m. Prenons l'exemple de la propriété « être massif », et supposons qu'une diversité de particuliers empiriques sont massifs. En construisant divers SRM pour mesurer cette propriété, nous construisons opératoirement la grandeur « Masse » qui est la quantification de la propriété physique « être massif ». Or cette construction est conventionnelle puisqu'il faut choisir une opération concrète parmi plusieurs possibles. Par exemple, nous pouvons mesurer la masse des particuliers en les comparant à l'étalon e au moyen d'une balance[69] (opération o_1). Nous aboutissons alors à un SRM_{e,o_1}où la position « 1 » est occupée par e, et où tous les particuliers empiriques effectivement mesurés occupent une place déterminée par le résultat de l'opération de comparaison par la balance.

Mais l'on peut aussi mesurer les masses des particuliers en utilisant un autre instrument : non plus une balance à bras égaux, qui nécessite de mettre tout objet mesuré en relation actuelle avec des standards, mais une balance à ressort qui donne directement le résultat de la mesure sur une graduation. Suspendu à un crochet, le particulier étire le ressort jusqu'à déplacer un curseur en un point précis d'une graduation imprimée sur l'appareil. On considère que la modification de la longueur du ressort, mesurée par la graduation, permet de mesurer indirectement la masse de l'objet suspendu. On utilise dans cette

[69] En réalité, nous devrons distinguer plus bas entre l'objet étalon et les objets concrets qui servent de standards dans une telle opération : lorsqu'on mesure la masse d'un objet en le plaçant sur le plateau de droite d'une balance, on place sur le plateau de gauche un certain nombre d'objets standards, qui sont à première vue des reproductions à l'identique de l'objet étalon (Ellis, 1966). Nous y reviendrons.

inférence la loi de Hooke, qui énonce le rapport linéaire entre l'élongation du ressort et la masse suspendue. Pour cela, il aura fallu calibrer au préalable l'instrument avec des standards dont la masse est connue, pour que le nouveau système de référence métrique (la graduation le long de l'appareil) permette de mesurer objectivement la masse des objets. La graduation ainsi établie forme donc un second système SRM_{e,o_2} distinct du premier.

Mais il est parfois nécessaire, dans la pratique, de définir une opération de mesure o_3 encore plus indirecte. Par exemple, on ne peut pas mesurer par aucun des deux opérations précédentes la masse d'un corps céleste, comme une planète. Mais on peut envoyer une sonde dans son champ gravitationnel et mesurer précisément la trajectoire et l'accélération subie par la sonde. En connaissant la masse de la sonde (elle-même déterminée par l'une des deux opérations précédentes) et une loi de la gravitation, qui relie la masse des objets en interaction et les modifications cinématiques observées (courbure de la trajectoire et accélération), on peut calculer la masse de la planète. Cette opération 3, on le constate, implique plusieurs instruments (sonde, télescope, ordinateur pour le calcul, etc.), mais elle aboutit essentiellement à une estimation de la masse d'un objet qui la situe dans un système de référence métrique. Ce nouveau SRM_{e,o_3} est l'ensemble des résultats numériques que l'on peut obtenir en produisant et observant la trajectoire d'une sonde, puis en calculant la masse inconnue à partir de ces données cinématiques.

Maintenant, demandons-nous quelles sont les contraintes pesant sur cette diversité de SRM pour que les différentes mesures que l'on peut obtenir en utilisant l'un ou l'autre de ces systèmes de référence aient la même signification objective, c'est-à-dire représentent le même fait objectif concernant l'objet mesuré. Imaginons donc un objet massif m_i, que l'on mesure en le situant dans les trois SRM différents. Nous obtenons trois déterminations métriques différentes, simplement parce qu'elles sont produites par l'application d'opérations de mesure différentes.

La question qui se pose maintenant, concernant l'objectivité de ces mesures, est de savoir si ces trois résultats ont la même signification physique, et sont des mesures du même fait concernant le particulier. Ce fait, appelons-le « la magnitude de sa masse ». Nous utilisons ici le terme « magnitude » en un sens ontologique indéterminé (et en particulier pas au sens d'une propriété qui serait possédée par cet objet, comme nous verrons le réaliste des propriétés le faire plus bas). Il désigne ici simplement le fait objectif et unique qui est approché par les procédures de mesure opératoirement distinctes. Doit-on exiger que les différentes déterminations métriques, obtenues dans des SRM opératoirement distincts, correspondent à la même magnitude mesurée ? Nous allons voir plus bas que cette question engage le débat entre l'opérationalisme, qui le nie, et le réalisme métrique qui affirme ce besoin d'objectivité.

2.3.La convention de l'étalon.

Lorsque nous avons imaginé la construction de SRM opératoirement distincts, nous avons dit que chaque nouveau SRM devait être calibré soigneusement, en utilisant les objets dont les mesures sont déjà connues grâce à un ancien SRM. Par exemple, pour calibrer notre balance à ressort et construire SRM_{e,o_2}, on commence par suspendre au crochet l'étalon e qui avait servi à construire le système SRM_{e,o_1} et on lui attribue, dans cette nouvelle représentation, le nombre 1. Tous les autres nombres sur la graduation peuvent être inscrits en utilisant la loi de Hooke, et l'on peut s'aider aussi des mesures connues d'autres objets dans SRM_{e,o_1} pour vérifier, par exemple, la linéarité de l'élongation du ressort en fonction de la masse. Mais l'essentiel est de voir que les nombres qui graduent maintenant la balance à ressort forment un système de référence qui, *via* le calibrage, est entièrement relatif au choix conventionnel de l'étalon e pour l'établissement du premier SRM. Nous pouvons maintenant quitter la première convention considérée (la définition de l'opération de mesure) pour étudier la seconde convention, le choix de l'étalon, qui détermine justement les nombres qui composent un SRM.

Prenons donc à nouveau notre balance à ressort, et SRM_{e,o_2} que l'on établit à partir d'elle, et imaginons que nous la calibrions maintenant en fonction d'un autre étalon : non plus e_1 mais e_2, qui est environ deux fois moins massif. Nous obtenons une nouvelle graduation le long de l'appareil, où le nombre « 1 » est associé à l'élongation du ressort produite par l'étalon e_2 et non plus e_1. La variation entre ces deux étalons engendre une distinction nouvelle entre deux systèmes de référence métrique : SRM_{e_1,o_2} et SRM_{e_2,o_2} qui diffèrent non plus par l'opération, mais par l'étalon par lequel on a calibré la graduation de la balance. Dans ces deux systèmes distincts, la mesure de la masse du même objet massif m_i donne deux résultats distincts (cette fois, c'est le nombre attribué à l'objet qui est différent). Alors nous pouvons poser la même question concernant l'objectivité de ces mesures : ces deux déterminations métriques ont-elles la même signification physique, et sont-elles des mesures du même fait concernant le particulier mesuré ? Devons-nous considérer ces deux résultats comme équivalents au point de vue de leur signification physique, au sens où ils désigneraient la même magnitude de masse, ou bien comme des résultats objectivement distincts ?

Ce problème engendré par la distinction des SRM consécutive à un changement d'étalon est une formule générale, qui enveloppe comme un cas particulier la possibilité qu'un étalon massif devienne, avec l'usure du temps et de ses utilisations, plus ou moins massif – ou, pareillement, qu'un bâton qui étalonne nos mesures de longueur, s'émousse et deviennent moins long à force de le déplacer et de s'en servir. Doit-on considérer que les résultats obtenus avec le bâton e à l'instant t, et les résultats obtenus avec le même bâton mais des années plus tard, alors qu'il est très probable qu'il se soit émoussé, sont les mêmes résultats ou bien sont distincts ? C'est-à-dire, doit-on considéré que c'est le même particulier concret qui est manipulé, ce bâton-ci, donc c'est le même SRM qui est construit et donc les mêmes

résultats qui sont obtenus, ou bien qu'avec l'usure, c'est un autre étalon e', et donc un autre SRM' que nous construisons des années plus tard ?

Concernant ces deux conventions, la définition des opérations de mesure et le choix de l'étalon, l'opérationalisme, que nous allons aborder maintenant, adopte une position empiriste radicale. Nous allons voir que les critiques traditionnellement admises de cette position, en faveur d'un réalisme métrique, peuvent être interprétées comme l'expression d'exigences concernant l'objectivité de la mesure.

3. Les difficultés de l'opérationalisme.

3.1.L'empirisme extrême et la signification d'une détermination métrique.

L'opérationalisme est une radicalisation empiriste de l'approche opérationnelle. Cette dernière part du principe que les concepts mathématiques métriques (les nombres associés à une grandeur) s'appliquent aux phénomènes physiques par la formulation de règles opératoires. Nous avons vu des exemples de ces règles dans le cas de la mesure de la masse. Les opérationalistes, comme (Bridgman, 1927) et (Dingle, 1950), pensent que ces règles ne sont nous donnent pas seulement l'application de ces concepts mais aussi leur signification objective. La signification d'une détermination métrique comme « 3 e_1 » obtenue dans SRM_{e_1,o_2} n'est rien d'autre que : « le résultat numérique obtenu par l'application à l'objet mesuré de la règle opératoire o_2 de comparaison à l'étalon e_1 » (Byerly & Lazara, 1973, p. 11). Par conséquent, une détermination métrique distincte, soit parce qu'elle n'est pas obtenue par la même règle opératoire, soit parce que le choix d'un étalon différent modifie le résultat numérique, doit avoir une signification objective distincte.

Par suite, l'opérationalisme a été critiqué précisément sur les deux points où elle admet des différences entre déterminations métriques pour mesurer un même objet. La principale critique concerne la conséquence sur la diversité des résultats de mesure de la diversité des règles opératoires possibles pour mesurer une même propriété. C'est cette critique que nous commençons par rappeler et reprendre. Mais une autre difficulté, plus cruciale pour notre problème de l'application des mathématiques (ici des nombres) aux phénomènes physiques doit aussi être affrontée : comment concevoir le rapport entre des déterminations métriques distinctes, parce qu'obtenues dans des SRM différant par le choix de l'étalon, qui pourtant sont des mesures du même objet ? Nous allons donc examiner successivement deux questions : quel rapport faut-il poser, pour fonder l'objectivité de la mesure, entre deux SRM qui ne diffèrent que par l'opération définie pour mesurer la même propriété ? Quel rapport faut-il poser, pour fonder l'objectivité de la mesure, entre deux SRM qui ne diffèrent que par le choix de l'étalon ?

3.2.Les difficultés classiques de l'opérationalisme.

Pour un opérationaliste comme Bridgman, il n'y a aucun sens à dire que par l'opération o, comme la suspension d'un objet au crochet d'une balance à ressort, nous mesurons la propriété m (« être massif ») de cet objet. Et le résultat de la mesure n'est pas l'estimation, par un procédé perfectible, d'un état déterminé et préalable de la masse. Au contraire, tout ce que le concept quantitatif de « masse » signifie est donné par la définition de l'opération pour construire la grandeur, et la signification de la détermination métrique « 3 kg » est épuisée par le fait qu'elle soit le résultat de l'application de cette règle. Ces deux thèses opérationalistes ont été largement critiquées.

3.2.1. Première difficulté.

La première difficulté classiquement opposée à l'opérationalisme est dirigée contre son antiréalisme, au motif qu'il ne permet pas de prêter une signification objective à la notion d'erreur de mesure. Comme l'explique (Swoyer, 1987), la théorie des erreurs fait partie de la métrologie, et l'erreur de mesure est un fait scientifique reconnu et essentiel dans la pratique. Une théorie de la mesure qui ne permet pas de prêter une signification objective à la notion d'erreur se rendrait incapable de rendre compte de cet aspect essentiel de la pratique métrologique. L'erreur de mesure désigne l'écart quantifiable entre la détermination métrique qui résulte de l'opération de mesure et celle qui correspondrait à une estimation exacte de la magnitude. Or l'opérationaliste ne peut pas distinguer les déterminations métriques selon qu'elles sont plus ou moins proches de l'estimation exacte. La notion de « mesure exacte d'une magnitude » n'est pas définissable dans son cadre, donc il ne permet pas de rendre compte de la théorie des erreurs, pourtant essentielle à nos pratiques de mesure devenues, en physique, très souvent probabilistes. Un second argument très proche de ce premier reproche à l'opérationalisme de ne pas pouvoir donner de sens au fait de vouloir modifier, améliorer nos méthodes opératoires de mesure, pour approcher une magnitude au plus près. L'opérationalisme ne permet donc pas de donner sens à la théorie des erreurs en mesure, erreurs liées aux aléas circonstanciels de la mesure, mais aussi au manque fatal de précision de nos instruments.

La seconde difficulté dérive directement de la réduction de la signification d'une grandeur comme la « Masse » à la règle qui définit l'opération pour la mesurer. Les scientifiques, dans leur pratique, peuvent considérer que plusieurs opérations de mesure différentes permettent de mesurer la même propriété, et qu'il est utile de pouvoir passer, selon les contextes expérimentaux, d'une méthode de mesure à une autre. Selon l'exemple précédent, on ne peut pas mesurer la masse d'un corps céleste selon la même opération que pour mesurer la masse d'un sac de farine. Pourtant, malgré la diversité des procédés, il apparaîtrait absurde dans la pratique scientifique de considérer que ces opérations de mesure différentes construisent des grandeurs différentes, qui ne renvoient pas à une seule propriété physique,

celle de tous les corps qui sont massifs. C'est pourtant une première conséquence de l'opérationalisme, qui le conduit à éclater les concepts quantitatifs en autant de concepts qu'il y a de procédures pour les construire les définir :

> Dans sa forme extrême, la thèse opérationalisme affirme que deux procédures opérationnelles ne peuvent pas déterminer le même concept, et qu'alors deux critères opérationnels différents ne peuvent pas être dit référer à la même grandeur. Par conséquent, si d'un côté nous déterminons la longueur d'une table au moyen d'un mètre (*yardstick*), alors nous traitons de la « longueur-mètre ». Mais d'un autre côté, si nous déterminons la longueur au moyen d'une triangulation optique, alors nous traitons de la « longueur-optique ». Comme l'ont pointé de nombreuses critiques, le programme opérationaliste ainsi décrit est menacé d'un éparpillement indéfini des concepts scientifiques. Il est manifeste que si deux personnes mesurent la longueur d'une table, on ne doit ordinairement pas compter comme différentes leurs procédures parce que l'heure à laquelle elles opèrent cette mesure ou la couleur de leurs chaussures diffèrent ; sinon, le seul critère pour qu'une procédure de mesure soit la même serait qu'elle soit une et la même. (Byerly & Lazara, 1973, p. 12)

Ici, Byerly et Lazara présentent l'objection classique à l'opérationalisme d'une façon qui nous intéresse particulièrement. Le cœur de l'impasse opérationaliste est d'admettre comme valides de mauvais critères de distinction entre les systèmes de référence construits, c'est-à-dire entre les grandeurs construites. Même un opérationaliste extrême serait d'accord pour dire que la règle opérative o, appliquée par une physicienne allemande du début du 20ème siècle, permet de construire la même grandeur (ou dans notre vocabulaire, le même SRM) que si la même règle est appliquée aujourd'hui par une physicienne indienne. C'est dire que les circonstances de temps et de lieu, de même que la nationalité de l'expérimentatrice, ne sont pas des paramètres pertinents pour individuer une procédure de mesure, et partant, pour considérer que ce sont des SRM distincts qui sont construits. Le réaliste de la mesure, de son côté, affirme que des règles opératives différentes peuvent construire des SRM pour la même grandeur (quand le second est calibré en fonction du même étalon que le premier). Par exemple, si l'on cesse de comparer les objets massifs à l'étalon e à l'aide d'une balance à plateau, qu'on remplace par une balance à ressort, calibrée sur le même étalon e, alors la grandeur construite reste la même. Nous n'avons pas une « masse-balance à plateau » et une « masse-balance à ressort », mais une seule et unique grandeur. Dans notre vocabulaire, le système de relations entre objets physiques établi par le premier procédé est le même que celui établi par le second instrument, et ce système d'objets physiques est décrit par le même SRM.

Ainsi, le premier argument contre l'opérationalisme fait appel à la pratique des scientifiques : le critère de distinction entre les grandeurs construites opératoirement n'est pas celui proposé par les opérationalistes. Une même grandeur peut être associée à différentes opérations de mesure.

3.2.2. Seconde difficulté.

Un second argument, épistémologique, montre les conséquences terribles qu'aurait la thèse opérationaliste sur la testabilité et la confirmabilité empiriques des lois physiques. Soit une loi L qui relie des grandeurs, M, N, dont les objets qui tombent dans leurs périmètres ne peuvent pas être mesurés par les mêmes opérations et les mêmes procédés. Soit l'ensemble A d'objets où la grandeur M est mesurée par la procédure O1, et l'ensemble B d'objets où elle ne peut être mesurée que par l'opération O2. On voudrait savoir si L, bien confirmé pour les objets de A, enveloppe des prédictions valides pour les objets de B. On déduit alors les prédictions de L concernant les objets de B, et l'on met en place les conditions expérimentales pour vérifier ces prédictions. Mais pour ces objets, nous ne pouvons pas utiliser la même procédure de mesure de la grandeur M. Il est pourtant crucial pour la démarche que ces objets soient bien des cas particuliers de la même grandeur. Sinon, ces objets mesurés par l'opération O2 seraient à considérer comme des cas d'une grandeur M' distincte de M, et n'entrent pas du tout dans le périmètre de la loi L. L'opérationaliste est foncièrement incapable de sauver à la fois le périmètre le plus général de la grandeur M (et donc de la loi L) et son critère de distinction opératif des grandeurs construites.

Plusieurs règles opératoires, avec par exemple plusieurs instruments, peuvent mesurer la même grandeur. Un objet massif, mesuré par l'un ou autre de ces deux instruments, est situé dans le même SRM, les résultats de la mesure sont la même détermination métrique, « 3 kg », qui est une détermination de la même grandeur, la Masse. On s'aperçoit que si l'identification de plusieurs règles distinctes comme pouvant mesurer la même grandeur est nécessaire pour garantir l'objectivité métrique, alors cette exigence se traduit bien, comme annoncé, par des actions importantes sur l'espace référentiel ER(m) de la propriété m. Si nous ne devons plus distinguer les SRM selon l'opération de mesure o, alors nous perdons l'une des deux causes de variation et de différence entre les SRM au sein de ER(m) : les SRM ne se distinguent plus que par le choix de l'étalon : $ER(m) = \{SRM_e\}_{e \in E}$.

3.2.3. Le conditionnement nomologique de l'objectivité de tout SRM.

Maintenant, un tenant de l'opérationalisme peut très bien objecter à la position réaliste métrique qu'en n'utilisant plus la définition d'une règle opératoire précise pour fixer la référence d'un concept comme « Masse », alors il perd un bon et peut-être unique moyen d'appliquer ce concept quantitatif aux particuliers empiriques. Comment identifier les particuliers qui tombent sous le concept de « Masse », si on ne peut plus dire que ce sont les résultats de l'opération de mesure o ? Et si on regroupe plusieurs opérations de mesure o1, o2, o3, dans la classe (*cluster*) « les opérations permettant de mesurer la même grandeur M », selon quel critère décide-t-on d'y inclure l'opération o4 et non, par exemple, l'opération o5 ? L'objection est tout à fait valide, et nous allons y répondre en deux temps. Notre réponse nous

conduira à mettre en évidence le conditionnement nomologique sous-jacent : l'objectivité de tout système de référence métrique implique de présupposer vrais énoncés nomologiques.

Premièrement, il faut voir que l'opérationaliste est en réalité lui aussi concerné par l'objection. La question est de savoir comment on peut légitimement dire que l'opération o1 est une opération qui, appliquée à tout objet mi, permet de mesurer sa Masse. Pour l'opérationaliste, la réponse est apparemment simple : c'est par définition que tout résultat de l'application de o est une détermination métrique de Masse, il suffit de suivre une règle. De son point de vue, c'est le réaliste qui est en difficulté, pour justifier que des règles différentes permettent pourtant de mesurer la même grandeur. En réalité, nous pouvons placer l'opérationaliste dans une difficulté du même ordre, en utilisant les critiques inspirées de Wittgenstein contre l'évidence apparente qu'il y a à suivre une règle.

Nous nous inspirons ici d'un argument que l'on trouve chez (Kripke, 1996)(ch. 2), qui fait référence à « l'argument du langage privé » de (Wittgenstein, 2005)(§243 et sq.), et nous appliquons cet argument aux règles opératoires. Selon cet argument, aucune ligne de conduite ne peut être légitimement considérée comme conforme à une règle déterminée, puisqu'en réalité toute conduite, même la plus irrégulière, peut être considérée comme conforme à une règle. Imaginons que jusqu'ici, nous n'ayons jamais additionné de nombres supérieurs à 57. Puis se présente à nous l'addition 57 + 68, qui a pour résultat 125. Par ce calcul, nous semblons suivre la même règle d'addition qu'auparavant, avec « + » dénotant une fonction unique définie sur toutes les paires d'entiers. Mais il se peut aussi qu'auparavant, nous ne suivions pas la règle de l'addition mais une règle différente, la « quaddition », définie ainsi : pour tout nombres x, y < 57, $x \oplus y = x + y$, et $x \oplus y = 5$ sinon. Nous n'avons pas de critère pour savoir si, auparavant, nous suivions la règle de l'addition ou bien de la quaddition, puisqu'auparavant, elles arrivaient par définition aux mêmes résultats.

Or l'opérationaliste nous paraît être rigoureusement dans la même situation lorsqu'il croit suivre une règle. On a besoin d'établir qu'une opération de mesure o1 est telle que, pour tout objet massif mi, son application permet de mesurer une même grandeur, la Masse. L'opérationaliste répond à ce besoin en avançant que par définition, c'est la même grandeur qui est mesurée par l'opération, parce que c'est la même opération qui est appliquée, c'est la même règle opératoire qui est suivie. Mais justement, il n'en sait rien, d'après l'argument de Kripke-Wittgenstein. Jusqu'ici, et pour tous les corps massifs mesurés Mi, il se peut qu'il n'ait pas suivi la règle o1 mais une règle différente comme : « appliquer l'opération o1 qui permet de mesurer la Masse pour tous les corps Mi, ou, pour tous les autres corps, appliquer l'opération o2 qui permet de mesurer la Charge ».

L'opérationaliste est donc rigoureusement dans la même difficulté que le réaliste : qu'on définisse une grandeur par une opération ou non, on doit justifier que la règle que l'on applique est bien la règle de mesure de la grandeur M. Pour l'opérationaliste, ce problème signifie qu'il ne peut pas être certain de suivre la règle qu'il croit suivre. Pour le réaliste, cela veut tout simplement dire qu'on peut changer d'opération tout en continuant de suivre une règle disjonctive de mesure d'une même grandeur.

Dans l'un et l'autre cas, on a besoin d'une justification selon laquelle, *pour tous* les particuliers cas d'une propriété mesurable m, l'application d'une opération ou d'un ensemble disjonctif d'opérations à ce particulier produit un résultat de mesure de la même grandeur M. On présuppose donc vrai le résultat d'une induction portant sur les règles et opérations de mesure, c'est-à-dire qu'on présuppose une loi.

Deuxièmement, et par conséquent, le fait de construire des systèmes de représentation en appliquant des règles de mesure est fondamentalement une démarche nomologiquement conditionnée. L'objectivité d'un SRM implique ce qu'on peut appeler une présupposition nomologique instrumentale. En effet, pour appliquer la règle opérative o, on doit présupposer que c'est en chaque cas la grandeur M qu'elle permet de mesurer. Or cela prend la forme d'un énoncé nomologique : « toutes les fois que la règle o est appliquée, c'est une détermination métrique de la grandeur M qui en résulte ». Cette condition de l'objectivité de la mesure n'est pas en elle-même une condition ontologique, mais plutôt épistémologique. C'est pour donner une signification objective aux résultats de nos opérations de mesure, à chaque fois qu'on les applique, qu'il faut supposer que des lois physiques, incorporées dans nos instruments, sont vraies. Ici, le chemin vers l'ontologie est indirect, il passe par la supposition de la vérité de lois physique. Nous renvoyons alors à notre analyse ontologique des lois de la nature, au chapitre VII.

Nos instruments, et les observations qu'ils constituent, sont chargés de lois physiques ; et nous sommes occupés ici par l'effet qu'a ce conditionnement nomologique de la mesure sur l'espace référentiel d'une grandeur. Dans l'exemple de la mesure de la Masse pris au-dessus, la balance à plateaux fonctionne en suivant le théorème des moments qui vaut pour les leviers, la balance à ressort suit la loi de Hooke, et la mesure de la masse d'un corps céleste par les déviations qu'elle fait subir à une sonde utilise la loi de la gravitation de la théorie de la relativité générale. Lorsque ces différentes lois sont présupposées, alors on peut postuler que des procédures de mesure différentes permettent de mesurer une même grandeur, parce que ces différentes lois impliquent la même grandeur (ici, la Masse). Ce sont donc des présuppositions nomologiques qui, régulant l'utilisation de nos instruments, fondent à rassembler plusieurs règles opératives différentes comme permettant de mesurer la même grandeur, et donc de construire *un même et unique* SRM. Par conséquent, nous rejoignons notre conclusion : les SRM ne se distinguent plus selon l'opération de mesure o, mais seulement par le choix de l'étalon : $ER(m) = \{SRM_e\}_{e \in E}$.

3.3.La thèse de l'étalon-magnitude.

Le problème posé par le caractère conventionnel du choix de l'étalon est le plus important. Cette convention d'étalonnage n'empêche pas que la détermination métrique obtenue possède une signification physique objective, mais il faut pour cela que des conditions d'objectivité soient remplies. C'est de ces conditions d'objectivité que nous allons tirer une conséquence ontologique forte.

3.3.1. La règle de transformation des SRM.

Que signifie que le choix de l'étalon est conventionnel, voire, comme on le dit parfois, arbitraire ? Il y a, dans l'espace référentiel ER de la propriété m (par exemple « être massif »), autant de SRM possibles qu'il y a dans la réalité de particuliers qui sont instances de m (qui sont massifs), et qui peuvent donc servir d'étalon pour construire un SRM, une fois une opération de mesure définie. Dans les faits, les choix d'étalons sont rarement arbitraires, car des raisons pragmatiques entrent en jeu : soit la maniabilité du particulier choisi (un rocher d'une tonne ferait un moins bon étalon que le kilogramme étalon), soit par l'aspect pratique du SRM qu'il permet de mettre en place (par exemple, parce que le choix de cet étalon assigne un nombre particulièrement intéressant à la mesure d'un autre objet mesuré). Mais il reste qu'en droit, tout parrticulier massif peut servir d'étalon pour la construction d'un SRM : l'ensemble E des étalons possibles se confond avec l'ensemble des particuliers qui sont des cas actuels de la propriété m. Fixons un point de vocabulaire : lorsque qu'un SRM est spécifié par le nom d'un étalon e qui correspond à un objet particulier qui existe actuellement (c'est-à-dire qui n'est pas qu'un particulier possible, non actuel), nous dirons que le SRM est constructible. La possibilité de construire un SRM ne désigne évidemment pas notre capacité technologique ni pratique : il y a de nombreux SRM, définis en fonction d'étalons non manipulables (comme une planète) ou non accessibles, que nous ne pourrons jamais construire. Mais cela ne signifie pas qu'il soit physiquement impossible de mettre tout particulier massif à mesurer en relation avec cet étalon. La possibilité de construire un SRM est donc seulement physique, elle signifie que la description hypothétique d'une opération de mesure permettant d'établir ces relations n'est pas en contradiction avec les lois de la nature postulées.

Cette diversité de SRM constructibles pour la mesure d'une seule propriété ne signifie pourtant pas nécessairement que les résultats des mesures dans un SRM soient arbitraires et entièrement relatifs au choix conventionnel de l'étalon. Il y a une condition générale d'objectivité qui peut être respectée, et qui permet de donner une signification physique objective aux déterminations métriques au sein d'un SRM donné. Cette condition porte sur les rapports entre les différents SRM appartenant à ER(m) : il faut que la modification *arbitraire* de l'étalon, c'est-à-dire le passage d'un SRM constructible à un autre, entraîne des changements *réglés* dans les déterminations métriques.

Soit un premier $SRM_{e,o}$ construit par l'application de la règle opératoire o à des objets empiriques et l'étalon e. Ce $SRM_{e,o}$ consiste en un ensemble structuré de déterminations métriques : $\{ne\}^{n\in N}$, où l'on trouve par exemple « 3 kilogrammes », « π kilogrammes », si e est le kilogramme-étalon. Imaginons que ces deux déterminations métriques sont assignées, par la procédure de mesure o, à deux particuliers m1, m2. Si maintenant nous changeons arbitrairement d'étalon, que nous passons de e à e'. Alors nous pouvons construire un nouvel système de référence $SRM_{e',o} = \{ne'\}^{n\in N}$ à partir de

ce nouvel étalon e'. Dans ce nouveau référentiel, les particuliers m1 et m2 se voient attribuer de nouvelles déterminations métriques : le premier est dit mesurer « n1 e' » et le second « n2 e' ». Accepter le caractère conventionnel de l'étalon, c'est accepter que le second système ne soit pas plus privilégié que le premier pour exprimer nos résultats de mesure. Mais à quelle condition peut-on alors accorder à ces différents systèmes de déterminations métriques une signification objective ? Il faut que la détermination métrique attribuée à un particulier mi dans le second SRM soit une transformation réglée de la détermination métrique qui lui était attribuée dans le premier – et cela pour tout mi. Donc il faut que $SRM_{e',o}$ soit une transformation de $SRM_{e,o}$ réglée selon la relation qu'entretient e' avec e. Par exemple, si e' est la livre-étalon, alors nous dirons dans $SRM_{e',o}$ que m1 a une masse de « 6,6 e' » ; cette nouvelle détermination métrique est une transformation réglée de celle que m1 recevait dans $SRM_{e,o}$, qui était « 3 kilogramme ». La règle de transformation suit le rapport quantitatif que e', la livre-étalon, entretient avec le kilogramme-étalon, à savoir « être 2,2 fois moins massif ». En changeant d'étalon, et en passant d'un SRM à un autre, toute mesure concrète est associée avec son homologue dans l'autre SRM par une transformation mathématique (souvent affine) qui est fixée par la relation entre le nouvel et l'ancien étalon.

Ainsi, nous pouvons arbitrairement choisir comme étalon n'importe quel autre particulier qui est un cas particulier de m, et construire sur lui un nouvel SRM, mais alors ses déterminations métriques sont contraintes à être des transformations des déterminations métriques constitutives du SRM de départ. Ces transformations sont réglées par la relation précise qu'ont entre eux le nouvel étalon e' et l'ancien e. Or, le fait que les deux étalons aient cette relation s'exprime entièrement dans le fait que l'ancien étalon n'est plus associé arbitrairement à la détermination métrique « 1 e », mais se voit maintenant associer une place bien définie dans le nouvel SRM. En l'occurrence, on peut dire dans le nouvel SRM le particulier e « kilogramme étalon » a une masse de 2,2 livres. C'est à cette condition que les différents SRM offrent des résultats objectifs de mesure *malgré* la convention du choix de l'étalon.

3.3.2. La thèse ontologique de l'étalon-magnitude.

Cette règle de transformation a une conséquence capitale sur ce que signifie, pour tout objet qui instancie la propriété M, d'« être un étalon possible de la grandeur M » : cela signifie que tout objet massif est une masse déterminée, et donc peut se voir attribuer une détermination métrique objective selon la nouvelle unité étalon choisie. Autrement dit, tout étalon de mesure est une magnitude bien déterminée, c'est-à-dire que la détermination métrique « 1e » par laquelle on désigne l'étalon e, dans le SRM construit sur lui, a autant de signification physique que toute autre détermination métrique dans ce SRM.

C'est cela l'opérationaliste ne peut pas accepter. Pour lui, l'assignation du nombre « 1 » à l'étalon e dans $SRM_{e,o}$ n'est pas le résultat de l'application d'une règle opératoire o, mais une pure convention. Du point de vue opérationaliste, dire que « e mesure 1 e » ne peut avoir aucune signification autre que de répéter le choix conventionnel de e comme étalon. Pourtant, d'après notre argument, si nous voulons que la construction d'un SRM après le choix arbitraire d'un étalon e engendre des déterminations métriques objectivement significatives, il faut qu'un énoncé comme « le kilogramme étalon a ou est une masse de 1 kg » ait une signification objective. Pour que les déterminations métriques d'un SRM puissent objectivement désigner des magnitudes, il faut que l'étalon désigné par « 1 e » dans le SRM soit lui-même une magnitude. Nous pouvons donc maintenant affirmer, contre l'opérationalisme, que la détermination métrique « 1 e » qui désigne l'étalon doit désigner une magnitude objective, si nous voulons que les autres déterminations métriques du même SRM aient une signification objective. Sinon, alors tout changement d'étalon, et donc toute construction d'un nouvel SRM, entraîneront des déterminations métriques différentes pour mesurer les mêmes objets empiriques, sans que nous soyons capables de dire que les déterminations métriques différentes, dans ces SRM différents, désignent les mêmes faits objectifs concernant ces objets (faits que nous nommons « magnitudes »). Résumons notre argument :

(A) Pour que nos SRM ne soient pas que des constructions conventionnelles, il faut que tout $SRM_{e',o}$ construit (à partir d'un particulier e' pris comme étalon) soit la transformation d'un autre système construit à partir d'un autre étalon e, selon une règle de transformation précise.
(B) Cette règle est fixée par la relation quantitative entre e et e', que l'on estime en mesurant l'ancien étalon e dans le $SRM_{e',o}$ construit sur e'. Il faut donc que la détermination métrique attribuée à e dans $SRM_{e',o}$ ait une signification objective, c'est-à-dire désigne une magnitude.
(C) Donc pour fonder un SRM doté d'une signification objective, il faut que tout étalon e soit lui aussi une magnitude.

(Russell, 1937) proposait de distinguer entre les « quantités » et les « magnitudes » d'une même grandeur, comme la masse (§151-158). Selon lui, les magnitudes sont des déterminations de la masse qui sont dans des relations de différence quantitative (ordre, addition, etc.), alors que les quantités sont ce qui peut être égal en masse. Deux quantités sont égales en masse lorsqu'elle possède une même magnitude de la masse. Et deux magnitudes ne peuvent pas être égales, puisqu'elles seraient alors une et identique, et non deux magnitudes distinctes. Il appuie cette distinction sur ce qu'il appelle le « Principe d'Abstraction », selon lequel une relation qui est à la fois symétrique et transitive n'est pas primitive, mais peut être analysée comme une identité de relation à un autre terme. Ici, c'est la relation d'égalité en masse qui est concernée : deux objets sont égaux en masse, mais cette égalité s'analyse

comme la possession par chacun d'eux d'une même relation : en l'occurrence la relation d'appartenance à une même classe de particuliers égaux en masse, à laquelle Russell identifie la magnitude qu'ils partagent (§158, p. 167, note). Pour éclaircir notre thèse, nous pouvons nous appuyer sur cet distinction de Russell et soutenir que, tandis que les standards d'un même étalon sont bien « égaux en masse », et que cette relation s'analyse comme leur possession d'une même magnitude, le particulier pris comme étalon n'est pas une quantité concrète, mais une magnitude.

Nous appelons cette conséquence la *thèse de l'étalon-magnitude*. Nous allons maintenant argumenter négativement en faveur de cette thèse, en montrant les conséquences néfastes de la position opérationaliste qui la nie.

3.4.Dingle et le problème de l'étalon.

Pour l'opérationalisme, la détermination métrique « 1 e » qui désigne l'étalon dans le SRM construit sur lui ne peut pas désigner une magnitude, puis qu'elle ne désigne même pas le résultat d'une opération de mesure. Elle ne fait qu'exprimer le choix conventionnel de l'objet e comme étalon. Nous pouvons maintenant avancer deux arguments qui montrent tous les deux que l'opérationalisme, en identifiant l'étalon à un particulier concret et non à une magnitude, est conduit à admettre comme différents des SRM qui ne le sont pas, et comme identiques des SRM qui sont distincts. De la même façon qu'avec les difficultés concernant l'identité de la grandeur mesurée, l'opérationalisme est conduit à dresser un espace référentiel qui n'est pas adéquat pour une mesure objective. Nous allons voir premièrement que l'opérationaliste ne peut pas rendre adéquatement compte d'une dimension essentielle aux pratiques concrètes de mesure, à savoir la fabrication de standards d'un même étalon. Deuxièmement, nous allons montrer que l'opérationalisme est incapable d'appréhender la possibilité qu'un étalon se déforme, à cause de l'usure ou pour d'autres raisons théoriquement plus intéressantes. Par exemple, la barre de métal que nous nommons « mètre étalon » peut voir sa longueur se modifier à cause de l'usage, mais aussi comme suite des variations de sa température selon une loi de dilatation thermique de ce métal, ou bien encore à cause de son accélération dans l'espace-temps, selon les lois de la théorie de la relativité restreinte. Examinons successivement ces deux sources de difficultés pour l'opérationalisme.

3.4.1. Premier argument : les standards d'un même étalon.

En premier lieu, l'opérationaliste est amené à admettre comme des SRM différents, au sein de son ER, des systèmes de référence construits à partir d'objets fabriqués comme des standards. Prenons l'exemple du fameux mètre-étalon. En 1889, lors de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM), le mètre est défini pour la dernière fois dans l'histoire en fonction d'un particulier empirique.

Le terme « mètre » désigne alors la distance entre deux points sur une barre d'un alliage de platine et d'iridium. Un exemplaire de cette barre est conservé au Bureau international des poids et mesures de Sèvres, et des copies sont distribuées aux dix-sept États signataires de la Convention du mètre. Il est déjà significatif qu'alors, le premier étalon fabriqué – disons, par exemple, que ce soit l'objet encore déposé au Bureau de Sèvre – n'est lui-même qu'un exemplaire, et non l'unique étalon dont les autres, fabriqués à sa suite, ne seraient que des copies. Mais « exemplaire » de quoi ? Notre thèse de l'étalon-magnitude nous dit (1) que ces particuliers concrets (les 18 standards) ne sont pas des étalons mais des exemplaires concrets d'un unique mètre étalon, et (2) que cet étalon est la magnitude ainsi définie et baptisée « un mètre ».

Or, pour l'opérationalisme, ce sont là des particuliers concrets différents (ce que nous ne nions pas), et un étalon doit être un particulier concret (ce que nous nions). On appelle particulier concret, à nouveau, un objet physique qui est distinguable des autres par ses coordonnées et limitations spatio-temporelles. Cet argument ne vise donc manifestement pas que l'opérationalisme, mais pourra être adressé à toute approche empiriste de la mesure qui a des présuppositions nominalistes, et qui par conséquent prend tout objet pour un *concretum*. Donc pour un opérationaliste ou un nominaliste, les différents standards sont des étalons différents. Par conséquent, des SRM construits à partir de standards différents sont distincts dans l'espace référentiel de la longueur ER(l). C'est cela qui n'est pas acceptable : nous pensons qu'il est inclus dans la définition d'un standard qu'il peut être substitué à tout autre standard du même étalon, sans changement de système de référence métrique.

Il faut donc bien s'entendre sur la définition d'un standard. On dit en général que des standards pour la mesure de la grandeur M sont des particuliers qui sont égaux en M à un étalon e. Mais il y a deux façons d'entendre le terme, selon ce qu'on comprend par « égaux » : soit, premièrement, on dit qu'un standard est un particulier qui, comparé à un étalon e *dans un SRM*, est dit mesurer « 1 e ». Comme on lui attribue le nombre 1, on dit qu'il est égal en masse à l'étalon au sens où il a la même masse que lui d'après le résultat de l'opération de mesure ; soit, deuxièmement, on postule que la masse du standard est *strictement* égale à la masse de l'étalon, et qu'ils ont rigoureusement *la même* masse. Or c'est manifestement ce second sens d'égalité dont on a besoin dans l'établissement d'un SRM à partir de standards. Quand on mesure la masse d'un corps posé sur un plateau d'une balance, en plaçant sur l'autre plateau *n* masses étalons standards e, et qu'on applique une loi d'addition pour dire que la masse du corps mesure *n* fois e, on postule l'égalité parfaite des masses des standards. Sinon, c'est l'addition qui n'a aucun sens, et l'opération de mesure qui ne peut pas s'appliquer.

Or une égalité parfaite des masses des objets standards ne peut pas être *seulement* un résultat de mesure. Il est certain que, dans la pratique, on peut vérifier l'égalité des standards en les mesurant par rapport à un étalon, et donc en les disant égaux dans le premier sens. Mais comme résultat d'une mesure, l'égalité entre deux mesures ne peut pas être prise au sens strict d'égalité : il se peut toujours que l'instrument ne parvienne pas à discerner deux masses qui sont en réalité différentes. L'égalité parfaite

ne peut être que postulée – et bien souvent, c'est en se fondant sur une loi que l'on peut faire ce postulat. Par exemple, si l'on fabrique des masses standards à la chaine, en suivant un procédé industriel I, nous ne pouvons nous fier à ce procédé que si nous pensons que tout objet qui en sort a la même masse ; c'est-à-dire que nous pensons que I incorpore une loi physique simple qui relie une magnitude de masse et le fait d'être un produit de ce procédé I. Donc pour que des standards soient utilisables et substituables au sein d'un unique SRM, il faut prendre leur égalité au sens d'une stricte identité au point de vue de la grandeur mesurée.

Mais l'opérationaliste a une parade. Pour lui, comme une détermination métrique ne *signifie* rien d'autre que le résultat d'une procédure de mesure, une phrase comme : « il se peut toujours que l'instrument ne parvienne pas à discerner deux masses qui sont en réalité différentes » ne peut avoir aucun sens. Ce serait donc une vertu de sa position de ne pouvoir prendre des déterminations métriques égales (par exemple égales à l'étalon e) qu'au sens strict, et non seulement comme des approximations de mesure. Comme c'est le même résultat de mesure, les déterminations métriques attribuées aux standards sont rigoureusement identiques. L'opérationaliste serait alors totalement fondé à appliquer une opération de mesure qui implique une loi d'addition, comme la mesure avec une balance à plateaux. Cela est vrai, mais ce n'est pas suffisant pour fonder la substituabilité des standards et de l'étalon *au sein d'un même* SRM.

S'il décide en effet de construire un autre SRM en prenant cette fois non plus l'objet e, mais le standard s_1 comme étalon, comme il doit pouvoir le faire pour respecter la conventionalité de l'étalon, l'opérationaliste est incapable de justifier que ce soit le même SRM qui est construit. Pour lui, comme s_1 et e sont deux objets distincts, les deux SRM doivent être distincts, et donc donner lieu à des déterminations métriques distinctes. Mesurer des objets massifs dans un SRM construit sur e, et mesurer les mêmes objets dans un SRM bâti sur le standard s_1, donnent des résultats dont il n'a pas le droit de dire qu'ils ont la même signification ! Pour justifier que dans le nouveau SRM, les résultats des mesures ont au contraire la même signification que dans le premier – et comment ne le seraient-ils pas, puisque ce sont les mêmes, sinon « standard » n'a aucun sens – il doit accorder que les déterminations métriques « 1 e » et « 1 s_1 » ont la même signification dans les deux SRM, c'est-à-dire que les énoncés « l'objet e mesure 1 s_1 » et « l'objet s_1 mesure 1 e » ont eux aussi la même signification, c'est-à-dire désignent un seul et même objet, l'unique étalon.

L'opérationaliste – et avec lui, tout nominaliste – en identifiant l'étalon à un objet concret manipulable, est conduit à pathologiquement distinguer, au sein de son ER, des SRM qui sont en réalité le même SRM. Une fois qu'un objet e est choisi conventionnellement comme étalon, des standards s_1, s_2 etc. peuvent être définis à l'intérieur de SRM_e si l'opération de mesure permet de leur attribuer la détermination métrique « 1 e ». Mais l'opérationaliste n'a aucun moyen de justifier que tout standard puisse être substitué à e sans modification du SRM. S'il prend s_1 pour étalon, alors SRM_{s_1} est pour lui

un système de mesure absolument distinct du premier, et les résultats des mesures des mêmes objets dans les deux SRM ne peuvent pas être identifiés. Inversement, nous allons voir maintenant que l'opérationaliste est pour la même raison incapable de *distinguer* au sein de son ER des SRM qui doivent pourtant compter comme distincts.

3.4.2. Second argument : les déformations de l'étalon.

C'est le cas précisément lorsque nous avons de bonnes raisons de penser que l'objet pris pour étalon a subi des déformations, qu'elles soient accidentelles ou nomologiquement prévisibles. Il est intéressant de citer Dingle sur ce point, car ces cas de déformations de l'étalon offrent au contraire, selon lui, une raison supplémentaire d'être opérationaliste :

> Supposons une mesure – disons, pour reprendre un exemple habituel, la mesure de la longueur d'un bâton AB. Nous obtenons un certain résultat, disons, 3. Selon l'approche traditionnelle (*traditional view*), ce résultat signifie que la longueur du bâton est trois fois celle du bâton qui sert d'unité standard, et avec lequel AB est comparé. Selon l'approche opérationnelle, il signifie que le résultat du fait d'appliquer une certaine opération sur le bâton AB est 3. Maintenant, supposons que nous répétions la mesure le jour suivant, et obtenions le résultat 4. Selon l'approche opérationnelle, ce que nous apprenons est dénué d'ambiguïté. La longueur du bâton AB a changé, parce que « la longueur du bâton AB » est le nom que nous donnons au résultat de l'application d'une certaine opération, et que ce résultat a changé. Selon l'approche traditionnelle, en revanche, nous faisons face à un dilemme, parce que nous ne savons pas si c'est le bâton mesuré ou bien le bâton qui sert d'unité standard, qui a changé. Un changement dans la longueur de l'un, comme dans celle de l'autre, pourrait entraîner le résultat observé. (Dingle, 1950, p. 8)

Pour Dingle, la position réaliste, qui prête aux résultats de mesure une signification objective, mène à des dilemmes insurmontables dans l'interprétation de ces résultats. Si, en utilisant le même mètre étalon pour mesurer deux fois le même objet, à un jour d'intervalle, et que le résultat est différent d'une mesure à l'autre (« 4 mètres » au lieu de « 3 mètres »), il n'y a pas d'ambiguïté pour l'opérationaliste : c'est la longueur mesurée du bâton qui a changé, puisque cette longueur n'est par définition rien d'autre que le résultat de cette mesure. Le réaliste, selon Dingle, rencontre en revanche une fatale ambiguïté : il ne peut pas dire si c'est la longueur du bâton qui a réellement changé, ou bien l'unité de mesure qui a varié.

Toutefois, Dingle n'explique absolument pas pourquoi cette ambiguïté devrait être évitée, ou bien constituerait une conséquence déplorable pour la démarche de mesure expérimentale. Ni, à l'inverse, pourquoi l'univocité de l'interprétation opérationaliste du résultat constitue au juste une force de cette position. Il nous semble au contraire qu'un expérimentateur a tout intérêt à faire de l'hypothèse de la constance de l'étalon une hypothèse empirique, et non une définition conventionnelle, et

d'envisager des situations où cette hypothèse est fausse. A nouveau, nous savons qu'un étalon servant à mesurer des longueurs s'use avec le temps et les utilisations répétées, ou bien que sa longueur peut se dilater ou se contracter en fonction de la température (selon les lois de dilatation thermique), ou encore en fonction de son accélération (selon les lois de la Relativité Restreinte). C'est donc que l'énoncé « le mètre étalon mesure 1 m » n'énonce pas qu'une convention, mais peut être vrai ou faux de l'étalon.

Par conséquent, ce n'est pas parce qu'on continue, d'un jour à l'autre, de manipuler le même objet concret, spatio-temporellement défini, pour construire un SRM, que nous n'avons pas à intérêt à dire que l'étalon a changé, puisque la longueur du particulier concret a changé. Par conséquent, si la longueur-étalon n'est plus la même d'un jour à l'autre, c'est que l'étalon n'est plus le même et que le SRM construit le lendemain n'est plus le même. L'opérationaliste est incapable de distinguer au sein de ER(l) des systèmes de référence métriques qui doivent pourtant être distingués, puisqu'ils sont construits sur des étalons différents. Les résultats de mesure sont alors différents, d'un SRM à l'autre, puisque les nombres attribués aux mêmes objets mesurés sont différents ; mais ils sont également objectifs, les déterminations métriques différentes ont la même signification, si nous sommes capables de formuler la relation entre les étalons différents. Si c'est l'usure qui a déformé l'étalon, alors nous n'avons, dans la pratique, pas d'autre choix que de mesurer sa longueur dans un autre SRM en le comparant à un standard. Mais si l'étalon se déforme à cause de variations dans les circonstances (thermiques ou cinématiques) selon une loi physique, alors sa déformation suit une formule mathématique connue. Le nouveau SRM, fondé sur le nouvel étalon déformé, doit une transformation de l'ancien SRM selon cette même loi de transformation. Ainsi, par exemple en Relativité Restreinte, considère-t-on que les longueurs se contractent en fonction de l'accélération subie par l'objet qui sert d'étalon à un SRM. A mesure qu'un repère accélère, la longueur de l'étalon change, donc le SRM change également : les différentes déterminations métriques (qui sont des nombres) se modifient selon la loi de contraction des longueurs. A cette condition, on peut continuer d'attribuer une signification objective aux déterminations métriques qui compose tout nouveau SRM.

3.5. Conclusion ontologique : la thèse DVQ.

Nous soutenons donc que l'objet étalon pour un SRM constructible n'est pas un particulier concret, mais est lui-même une magnitude. Avant d'en tirer les conséquences ontologiques, nous devons insister sur le fait que c'est une condition de l'objectivité des mesures obtenues dans un SRM particulier. Cette condition se découvre comme une contrainte pesant sur les critères d'identification ou, au contraire, de distinction, entre les différents SRM au sein de l'Espace Référentiel d'une même propriété m. Nous disons que des SRM constructibles doivent être considérés comme le même SRM, (1) s'ils ne diffèrent que par les *n* opérations o_i de mesure conventionnellement définies pour les construire, et que *n* lois physiques nous disent que ces opérations permettent toutes de mesurer la propriété m, ou (2) s'ils

ne diffèrent que par des objets (qui sont instances de m) qui sont conventionnellement choisis comme étalon, et qui sont des standards les uns des autres. Nous disons au contraire que des SRM constructibles doivent être comptés comme distincts dans l'ER(m) si les étalons sur lesquels ils sont construits sont des magnitudes distinctes de la grandeur construite M. Cela peut être le cas si l'on change de particulier concret manipulable pour construire un SRM, et que ce nouvel objet n'est pas un standard de l'ancien étalon. C'était l'exemple des SRM construits sur l'étalon « kilogramme » ou sur l'étalon « livre ». Mais cela peut aussi être le cas si nous avons de bonnes raisons de penser que la magnitude de le particulier concret a changé (usure accidentelle ou déformation nomologiquement expliquée). Dans ce dernier cas, l'objectivité des mesures exige que nous considérions que l'étalon, et donc le SRM construit, n'est plus le même.

Autrement dit, l'objectivité des mesures au sein d'un SRM nous contraint à n'admettre, comme différences pertinentes entre tous les SRM d'un même ER(m) et donc entre tous les étalons possibles, que les différences entre les magnitudes de la grandeur M. Les étalons sur lesquels on peut construire des SRM objectifs de la grandeur M ne se distinguent qu'en tant que magnitudes différentes de cette grandeur. Ces critères d'identification ou bien de distinction entre SRM peuvent être vus comme des idéalisations du domaine empirique qui doivent être faites par le scientifique s'il veut, dans la construction de système de mesure, appliquer objectivement les mathématiques aux phénomènes, c'est-à-dire garantir que cette application ait une signification physique objective.

Or ces idéalisations ont des conséquences ontologiques fortes. Elles impliquent en particulier l'abandon de la position nominaliste en général concernant la distinction des particuliers empiriques qui sont instances de la propriété m. Un nominaliste admet ordinairement des particuliers concrets, c'est-à-dire distincts au sein par exemple de la classe de tous les objets qui sont m par leurs coordonnées spatio-temporelles différentes. Or l'ontologie du *concretum* délimité et particularisé spatio-temporellement, ne nous semble pas être la bonne ontologie de l'étalon. Pour qu'un objet puisse être pris comme étalon pour la construction d'un SRM donnant lieu à des mesures objectives, nous devons considérer qu'il est particularisé et distinct des autres objets du même domaine empirique (la classe des objets qui sont m, et qui sont donc des étalons possibles pour la mesure de m) *comme une magnitude différente* de la grandeur M. Par conséquent, deux objets empiriques qui sont la même magnitude sont *le même* étalon, et sont donc comme étalon sont *le même objet*. Lorsque nous possédons divers standards du « gramme », pour utiliser une balance à plateaux, l'objet qui sert d'étalon n'est pas ce petit volume concret de métal qui pèse un gramme, ou cet autre-ci, qui est un autre particulier concret que l'on pose à côté du premier sur un plateau de la balance. L'étalon est un objet idéalisé, qu'on désigne par « le gramme étalon », que l'on retrouve dans différents particuliers concrets manipulables d'après l'hypothèse (nomologique) qui a présidé à leur fabrication réglée. Par conséquent également, si un même particulier concret subit une déformation, nous devons considérer qu'il n'y a pas un mais deux objets idéalisés distincts, qui sont des étalons distincts pour construire des SRM distincts.

L'étalon n'est donc pas un particulier concret, mais un *particulier abstrait*, objet atteignable par une idéalisation, qui n'est distinct des autres particuliers (abstraits) du domaine des instances de m, que parce qu'il est une magnitude différente de M. Nous retrouvons donc, au fondement de l'objectivité de la mesure, la théorie ontologique DVQ : les divers particuliers d'une même propriété sont distincts parce qu'ils sont des déterminations différentes, c'est-à-dire des magnitudes, de M (thèse DQ) et ne sont distincts qu'en cela (thèse VQ).

4. Le structuralisme empiriste d'Ellis

A ce point, nous avons réussi à dériver notre théorie des quantités à partir des exigences d'objectivité métrique que l'on peut formuler en critiquant la position opérationaliste. Il est apparu clairement que ce qui était en question n'était pas l'approche opérationnelle elle-même, qui est inévitable pour rendre compte de l'application concrète des mathématiques (ici, des nombres) aux phénomènes mesurés. Ce sont en revanche les présuppositions nominalistes des opérationalistes qui nous ont paru remettre en cause l'applicabilité objective des mathématiques. Nous voudrions aborder le structuralisme empiriste d'Ellis, pour tester et confirmer nos dernières conclusions. En effet, sa position est élaborée précisément pour surmonter les problèmes rencontrés par les opérationalistes et mieux fonder l'objectivité de la mesure, sans rien abandonner de l'ontologie nominaliste. Si nous avons raison dans la section précédente, alors soit cette tentative ne peut pas réussir, soit elle ne peut qu'aboutir à une ontologie foncièrement non-nominaliste.

4.1.La théorie des Quantités comme Structures Empiriques (QSE).

Mais avant de présenter et discuter la théorie d'Ellis et ses modifications par Forge, nous devons exposer une théorie plus générale dont elle est une spécification particulière. En effet, les propositions d'Ellis-Forge nous semblent s'insérer dans le cadre plus large où les quantités mesurables sont conçues comme des structures empiriques (théorie QSE). Après en avoir expliqué les éléments fondamentaux, nous montrons comme la théorie d'Ellis-Forge correspond à une spécification non nécessaire de QSE, par l'ajout de présuppositions nominalistes. La distinction entre la théorie générale QSE et sa version spécifiquement nominaliste est d'autant plus importante que, dans la suite, nous soutiendrons nous-mêmes une version *non-nominaliste* de QSE comme théorie des quantités.

4.1.1. Les éléments de QSE.

La théorie QSE identifie la propriété mesurable m (la quantité m) à une structure Sm entre objets empiriques. Elle est une théorie ontologique, dans la mesure où elle nous dit en quoi consiste,

ontologiquement, une quantité m. Mais elle est parfaitement compatible avec l'approche opérationnelle de la méthode d'application des nombres aux objets mesurés (comme est l'est, aussi, avec l'approche représentationnelle que nous abordons au chapitre suivant).

Lorsque l'on construit un SRM en choisissant conventionnellement un étalon e, on définit une structure numérique {n e}. Mesurer un objet empirique mi, c'est lui attribuer une place dans ce SRM. Mais, en raison de la conventionalité de l'étalon, plusieurs SRM sont possibles, et l'objectivité métrique exige que ces divers SRM engendrent des déterminations métriques qui ont la même signification physique objective. La théorie QSE intervient alors en expliquant que ces divers systèmes numériques de référence représentent la même structure empirique. Autrement dit, il existe une unique structure empirique composée des objets instances de m et des relations quantitatives de masse comme « être deux fois plus massif que », « être π fois plus massif que », etc. La structure est donc l'ensemble des faits relationnels objectifs impliquant ces objets instances de m. Lorsque l'on construit un SRM particulier de ER(m), en élisant une instance de m comme étalon, on attribue à tous les autres objets mesurés des déterminations métriques « n e » qui ne font qu'exprimer numériquement les faits relationnels *découverts* par les opérations de mesure. Les nombres attribués aux objets sont entièrement relatifs à l'étalon choisi ; mais un changement d'étalon, entraînant la construction d'un SRM différent, fait que nous exprimons par nos mesures d'autres relations au sein de la même structure : les relations de tout objet mesuré à ce nouvel objet pris comme étalon. L'identité de la structure décrite par tous les SRM constructibles garantit l'objectivité des mesures qu'ils permettent. En particulier, on note bien qu'un étalon possède lui-même une détermination métrique objective : dire que l'« étalon e mesure 1 e » n'exprime pas que le choix conventionnel de l'étalon, mais attribue à cet objet une place bien déterminée dans la structure empirique objective.

4.1.2. La question ontologique à partir de QSE.

La théorie QSE implique un réalisme métrique : contrairement à l'opérationalisme, elle affirme que nos déterminations métriques désignent bien des faits objectifs concernant les objets mesurés (comme le note (Armstrong, 1987, p. 311)). Mais à nouveau, ce réalisme métrique, qui concerne l'objectivité de nos mesures, n'implique pas du tout la thèse ontologique du réalisme des magnitudes-propriétés, qui identifie les magnitudes, c'est-à-dire les faits objectifs désignés par les déterminations métriques dans un SRM, à la possession par les particuliers empiriques de *propriétés*. Il est possible de refuser (comme le fait Ellis), ce réalisme ontologique des propriétés, tout en défendant une version de la théorie QSE. Mais Ellis a tout aussi tort de penser qu'une théorie QSE implique nécessaire une analyse *nominaliste* des structures empiriques. Nous montrons qu'au contraire QSE est encore ontologiquement assez indéterminée pour permettre une analyse *non-nominaliste* de ces structures, et que l'argument

d'Ellis souffre précisément de la confusion entre réalisme métrique et réalisme ontologique des magnitudes-propriétés.

Il explique en effet qu'en postulant que les particuliers possèdent des propriétés quantitatives inhérentes, le réaliste ontologique manque ainsi le caractère relationnel et structurel des quantités. Pour Ellis, il faut cesser de voir les magnitudes comme des propriétés car alors on est conduit à réifier dans ces magnitudes des caractéristiques quantitatives et numériques qui sont conventionnelles (Forge, 1987, p. 295). Lorsqu'on attribue à un objet mi la détermination métrique n e, on n'énonce rien concernant mi pris isolément, mais on parle de ses relations aux autres objets instances de m sous l'aspect de leur masse. On énonce seulement des faits relationnels – ceux qui sont constitutifs de la structure empirique Sm. Ellis a parfaitement raison, mais son argument ne peut viser qu'une position ontologique qui nierait le caractère relationnel des faits objectifs désignés par nos déterminations métriques. En effet, ce serait le cas de quelqu'un qui dirait que dans une détermination métrique comme « 3 kg », le nombre 3 désigne une caractéristique intrinsèque à l'objet mesuré. On aurait alors bel et bien une réification malencontreuse du nombre « 3 », un pythagorisme qui se tromperait effectivement sur la signification objective de nos mesures, qui est relationnelle. Le nombre « 3 » ne désigne dans cette détermination métrique qu'une relation entre l'objet mesuré et l'étalon conventionnellement choisi. Autrement dit, Ellis a raison de dire que nos déterminations métriques ne désignent que des faits relationnels. Mais cette précaution prise, rien ne nous empêche d'appeler, comme nous le faisons, « magnitudes » ces faits relationnels, et de se demander quels sont leur nature et leur fondement ontologique.

Disons les choses autrement. De ce que nos déterminations métriques ne peuvent objectivement désigner que des faits relationnels, il ne s'ensuit pas comme l'affirme Ellis la nécessité d'abandonner l'ontologie des magnitudes-propriétés, et d'opter pour son nominalisme. La question ontologique reste ouverte de savoir quelle est la nature des *relata* impliqués dans ces faits découverts par nos mesures : sont-ils des objets concrets, comme Ellis et Forge le pensent en nominalistes, ou bien sont-ils des propriétés ? A nouveau, on s'aperçoit que l'opposition entre une théorie empiriste-relationnelle et une théorie réaliste des propriétés est très trompeuse, car, comme Swoyer et Armstrong l'avouent, toute ontologie des magnitudes doit parvenir à fonder les faits relationnels que nous découvrons et désignons objectivement par nos mesures. Et tout en reconnaissant que les magnitudes attribuées sont relationnelles, on est en droit de penser avec Swoyer et Armstrong, que ces relations surviennent sur des propriétés monadiques de leurs *relata*[70].

[70] À vrai dire, même si QSE est compatible avec une ontologique des magnitudes-propriétés, leur alliance n'est pas une démarche très cohérente. Tout l'intérêt de QSE est d'offrir la possibilité d'identifier une propriété mesurable m à une structure de particuliers *empiriques* et donc d'éviter de postuler des propriétés ou universaux. QSE est donc une forme de réalisme métrique qui n'est ontologiquement pas si neutre, puisqu'elle tend à nous dispenser du réalisme des magnitudes-propriétés (mais sans l'interdire non plus). De son côté, un tenant du réalisme des magnitudes-propriétés n'aurait aucun intérêt non plus à adopter QSE et, en identifiant par exemple une quantité m à une structure de ces magnitudes-propriétés, à contraindre cette structure à être *empirique*. Dans le prochain chapitre, nous verrons que les théories ontologiques réalistes des quantités (Mundy, Swoyer) ignore effectivement cette contrainte.

Le véritable nœud du problème est donc de savoir quelle est la nature ontologique de « ce qui est mesuré ». Pour le nominaliste, ce doit être un objet concret, auquel on attribue une place dans une structure empirique. Examinons donc maintenant la version nominaliste de la théorie structuraliste QSE.

4.2. Comment la théorie QSE nominaliste d'Ellis-Forge surmonte les difficultés de l'opérationalisme.

(Ellis, 1966) propose une version nominaliste de ce que nous appelons la théorie QSE, dans le but de surmonter les deux principales difficultés de l'empirisme opérationaliste. Il affirme que ce que décrivent et découvrent les différents SRM d'un même Espace Référentiel est une même structure d'objets empiriques. Mais il identifie ces objets à des particuliers concrets, rencontrables ou manipulables dans l'espace-temps. Nous allons montrer que cette clause nominaliste empêche précisément la théorie QSE d'atteindre son but, de résoudre les deux problèmes posés par l'opérationaliste : (1) comment justifier que plusieurs opérations de mesure permettent de mesurer la même quantité ? et (2) comment justifier que des SRM construits sur des étalons différents décrivent les mêmes faits objectifs concernant les objets mesurés ?

4.2.1. Première difficulté.

Pour résoudre (1), Ellis renonce à penser que c'est le procédé de mesure ou la règle opératoire o qui définit la grandeur que l'on construit, parce que plusieurs procédés différents permettent de construire une grandeur unique, et de mesurer une même propriété. Les grandeurs physiques ne reçoivent donc pas une définition univoque, par une règle opératoire déterminée, mais sont associées à des familles d'opérations. Les concepts de grandeurs, comme la « Masse », sont donc pour Ellis des « cluster-concepts ».

Ellis doit alors fournir un critère permettant de classer une règle opératoire dans un même *cluster* que d'autres règles, et de dire qu'elle permet de mesurer la même propriété quantitative m que ces autres. Selon lui, des opérations de mesure différentes peuvent être dites mesurer la même propriété si elles donnent lieu à des ordonnancements identiques d'objets dans des conditions semblables. Par exemple, on peut dire que l'opération de mesure qui compare des objets à des étalons sur une balance à plateaux construit la même grandeur « Masse » que l'utilisation d'une balance à ressort (calibrée sur le même étalon), parce que les relations construites entre objets mesurés sont les mêmes. Ellis s'intéresse particulièrement aux relations d'ordre établies par ces opérations – nous y reviendrons – et explique donc que deux règles opératoires mesurent la même propriété et construisent la même grandeur quand elles établissent le même ordre objectif entre les objets mesurés. Pour ne pas réduire les relations établies

par les opérations de mesure à des relations d'ordre (pour une raison que nous donnerons plus bas), nous parlerons plutôt de « structures » que d'« ordre », ce qui ne change rien à l'idée centrale d'Ellis : identifier une propriété mesurée à une structure empirique entre particuliers, que l'on peut établir par différentes règles d'un même cluster. De cette façon, il peut formuler un critère pour justifier que plusieurs opérations de mesure soient regroupées dans la classe (le cluster) des règles permettant de mesurer la même quantité m : il faut et il suffit que toutes ces règles permettent d'établir la même structure entre les objets empiriques, c'est-à-dire de décrire la même classe structurée d'objets.

Mais une première objection peut être soulevée, qui s'appuie sur la critique classique de l'identification d'une propriété (ici, la quantité m) à une classe de particuliers concrets (ici, une classe structurée) : deux propriétés peuvent être co-extensives, c'est-à-dire être instanciées par exactement les mêmes particuliers, sans être identiques. Forge voit bien la difficulté :

> Les théories qui cherchent à identifier les propriétés à des classes sont, en général, rejetées sans sommation, parce qu'il a des cas de propriétés qu'elles sont censées confondre. Puisque tout ce qui a un cœur a un foie (à part dans quelques mondes Lewisiens), la classe des choses qui ont un cœur est la même que la classe des choses qui ont un foie, alors qu'avoir un cœur n'est pas la même chose que d'avoir un foie. Les quantités, toutefois, sont des classes *ordonnées,* et je ne connais aucun exemple de classes ordonnées identiques et associées pourtant à deux (ou plusieurs) quantités. Certes, on a cru pendant un temps que la masse gravitationnelle était différente de la masse inertielle, bien que les ordres de ces quantités soient les mêmes. Mais la Relativité Générale implique que ces deux types de masse sont en réalité la même quantité, comme l'illustre l'ascenseur d'Einstein, qui subit d'abord une accélération et ensuite une modification du champ gravitationnel. Les effets de ces deux processus sont identiques. (Forge, 1987, p. 305)

Forge admet ensuite que même dans le cas où il n'existe pas, dans le monde actuel, deux quantités m et m' correspondant à la même classe structurée, la seule possibilité de décrire un monde possible où c'est le cas peut poser problème. Mais c'est pour ajouter tout de suite que « si on faisait référence à ce monde dans une objection à notre théorie, ma réponse serait que cela n'a rien à voir avec ce dont il est question, à savoir, les quantités telles qu'elles existent dans notre monde et sont sujettes à nos techniques de mesure » (p. 306). Or, pour renforcer contre lui l'objection, on peut tout à fait décrire une situation dans le monde actuel où deux quantités correspondent à la même classe structurée d'objets. Byerly et Lazara ont en effet montré que cela arrivait dès que nous utilisons un instrument où les différents états d'une quantité m sont mesurés indirectement, par l'observation des différents états d'une propriété m' (Byerly & Lazara, 1973, p. 17). Par exemple, dans un thermomètre, les variations de deux propriétés mesurables (la température du mercure, et sa hauteur dans la colonne) sont nomologiquement corrélées, et c'est ce qui nous permet de mesurer la température du mercure via l'observation de sa hauteur sur la colonne graduée. Nous avons bien ici un cas où tous les états de température et tous les

états de hauteur du mercure sont associées à une unique classe structurée d'états empiriques : le mercure dans le thermomètre à tous les instants t.

C'est pourquoi il n'est pas suffisant d'identifier une quantité à une classe structurée de particuliers empiriques : il faut encore dire que ces particuliers sont structurés sous un aspect précis, celui de la quantité m. C'était une présupposition qu'on trouvait d'ailleurs bien déjà chez Ellis, où l'on pouvait lire qu'une quantité q est l'ordre linéaire en q des objets empiriques. Ici, « ordre linéaire en q » signifie que les objets sont classés par une relation d'ordre qui intègre l'aspect selon lequel elle les classe : « <q », écrit Ellis. Dès lors, comme Forge à son tour le voit très bien, il est nécessaire d'avoir au préalable identifié quelle était la quantité m ou q sous l'aspect de laquelle les objets mesurés devaient être classés. Une fois qu'il a admis cela, Forge apporte une solution qui nous convient tout à fait, puisqu'elle s'assimile aux présuppositions nomologiques que l'on fait implicitement en utilisant un instrument de mesure :

> Les lois, telles qu'on les conçoit en physique, sont des relations ou des correspondances entre quantités. Si les quantités sont conçues comme des classes ordonnées, alors une loi de la nature est une correspondance entre des classes ordonnées. […] Nous faisons usage de lois dans la mesure indirecte – la masse d'une planète peut être calculée de l'accélération qu'elle inflige à une sonde. Les lois de la nature par conséquent nous permettent d'étendre le champ de la mesure, et par suite, indirectement, de nos opérations de mesure. […] Sous certaines conditions, on constatera le même ordre dans des sous-classes correspondant à des quantités distinctes. C'est une conséquence des lois de la nature. (Forge, 1987, pp. 301-306)

Le thermomètre incorpore, pour nous permettre de lire des magnitudes de température quand nous mesurons la hauteur du mercure dans la colonne, la loi physique reliant la température et la dilatation de ce métal. C'est donc par sa place dans une loi physique que nous identifions la quantité mesurée par l'intermédiaire de la hauteur du mercure, à la température. La théorie QSE d'Ellis-Forge parvient donc finalement à résoudre le problème (1) – celui de justifier que plusieurs opérations de mesure permettent de mesurer la même quantité – en faisant appel aux mêmes présuppositions nomologiques concernant les instruments de mesure.

4.2.2. Seconde difficulté.

Le problème posé en (2) est plus redoutable pour la théorie d'Ellis : comment justifier que des SRM construits sur des étalons différents décrivent les mêmes faits objectifs concernant les particuliers mesurés ? Nous avons expliqué en 4.1.1. comment, en principe, une théorie QSE peut résoudre cette difficulté. Nous allons montré, contre Ellis, que l'hypothèse des structures empiriques ne fonctionne en

réalité qu'à la condition de concevoir les « objets » en relations dans la structure Sm autrement que comme des particuliers spatio-temporels individuels, c'est-à-dire de façon *non nominaliste*.

Nous pouvons commencer par donner l'allure générale du problème que pose la théorie d'Ellis. On comprend très bien d'où vient l'idée des structures empiriques. Lorsque, dans la pratique, on construit un SRM, on a d'abord choisi un étalon e et défini une opération o, pour établir des relations rie entre les particuliers mesurés mi et l'étalon e. On considère alors un système de particuliers physiques <e, m_j> où des relations rie ont été attestées. Ce système fini de particuliers effectivement comparés à l'étalon, nous le représentons par le SRM ainsi construit, composé de la détermination métrique désignant l'étalon « 1 e » et de toutes les déterminations métriques attribuées aux particuliers effectivement mesurés d_{mj} : {n e}. Ces d_{mi} représentent les places que les particuliers mi ont dans le système fini construit <e,m_j>. On généralise alors ce raisonnement, en imaginant que nous ayons construit un système physique étendu à *tous* les particuliers mi qui sont des cas particuliers de m. Ce système physique, composé de tous les particuliers du domaine empirique de m, ainsi que de toutes les relations rie attestées par l'opération o entre les mi et l'étalon e, est alors représenté par un SRM étendu à toutes les d_{mi} nécessaires. On appelle ce système physique étendu la structure empirique Sm, et on affirme que notre SRM construit représente numérique la structure empirique des particuliers de Sm.

Or, dans notre SRM, la détermination métrique « 1 e » désigne *le particulier* e pris comme étalon, alors que les déterminations d_{mi} désignent *les places* que l'on attribue ou découvre aux particuliers mi dans la structure Sm. Il y a là une asymétrie entre une détermination métrique qui désigne un particulier empirique et toutes les autres qui désignent des places que peuvent prendre d'autres particuliers empiriques dans une structure. Cette asymétrie est vite résorbée, lorsque l'on fait le même type de raisonnement que dans la section 3.3. : le particulier pris comme étalon doit lui-même être une magnitude désignée par une détermination métrique objective, c'est-à-dire, dans la théorie QSE, une place dans une structure. Or, comme tout particulier mi peut être pris comme un étalon, alors tout mi n'est lui-même qu'une place dans la structure Sm. Autrement dit, si l'on applique la thèse de l'étalon-magnitude, qui dérive de l'exigence d'objectivité métrique, alors la structure Sm est une classe structurée de particuliers qui ne sont eux-mêmes, ontologiquement, rien d'autre que les places de cette structure. Autrement dit, nous rejoignons l'interprétation structurale de la théorie DVQ donnée dans le chapitre précédent.

Mais cette conséquence n'est pas acceptable par des empiristes-nominalistes comme Ellis et Forge. Pour eux, les éléments de la structure Sm sont des particuliers concrets, et non les particuliers abstraits que nous désignons comme les « magnitudes de M ». Nous devons donc pouvoir montrer qu'il est impossible de défendre cette interprétation nominaliste de la théorie QSE tout en maintenant QSE comme une solution au problème (2) (la sauvegarde de l'objectivité métrique malgré la conventionalité de l'étalon).

4.3. Dérivation ontologique de DVQ à partir de l'ontologie des structures empiriques.

Notre but est dans cette dernière section de montrer que si on adopte la théorie QSE de la mesurabilité d'une propriété, alors on ne peut pas assurer de solution satisfaisante au problème (2) de l'objectivité métrique malgré le choix conventionnel de l'étalon à l'intérieur du cadre nominaliste d'Ellis et Forge, mais qu'il faut bien plutôt adopter l'ontologie DVQ, selon laquelle les particuliers mesurés et mesurables ne sont rien d'autre que des places dans une structure empirique.

4.3.1. Le postulat d'extension des relations.

Pour cela, nous montrons que pour résoudre le problème (2), il faut faire un postulat que nous appelons « postulat d'extension des relations ». Après avoir vu que la théorie empiriste-nominaliste ne permet pas de justifier ce postulat, nous tâchons d'en dériver les bonnes conséquences ontologiques.

4.3.1.1. Le postulat de Forge.

La théorie d'Ellis-Forge ne permet de répondre au problème (2) qu'en postulant que le système fini d'objets physiques, qui est effectivement construit sur l'étalon e par des opérations de mesure o, est une sous-structure extraite d'une structure Sm plus large, valant sur tout le domaine empirique de la propriété m (la classe des particuliers qui sont m). Forge voit très bien quel est le problème, lorsqu'il écrit que (Q désigne la classe des instances de la même propriété q, c'est-à-dire ce que nous désignons comme le domaine empirique de la propriété m) :

> On peut spécifier l'appartenance (*membership*) à Q de la manière suivante. Certaines opérations de mesure sont actuellement appliquées à une sous-classe Q' de Q. Ces opérations sont appliquées parce que les éléments de Q' nous sont accessibles, et peuvent donc être placés sur les plateaux d'une balance, connectés à des galvanomètres, alignés avec des règles étalons, etc. À parler strictement, différentes sous-classes de Q devraient être distinguées, puisqu'il est peu probable que les opérations de mesure de q s'appliquent exactement aux mêmes objets, même si l'on s'attend à ce que ces sous-classes partagent des membres. Différentes opérations de mesure correspondent au domaine Q' d'une même quantité q parce qu'elles génèrent le même ordre =<q dans Q'. Cela peut être garanti en se référant à des lois de la nature […]. Mais il y aura aussi des objets éloignés dans l'espace et le temps, auxquels nos opérations de mesure ne s'appliquent pas, ni directement ni indirectement. Par exemple, nous présumons qu'il y a des étoiles dans les recoins les plus reculés de l'univers alors même que nous n'avons aucune infirmation sur elles. De tels objets ont des quantités comme la masse, le volume, le diamètre, etc. Maintenant, si nous avions accès à ces objets – si nous avions des données sur leur taille, composition, etc. – alors nous pourrions leur appliquer nos opérations de mesure indirectes. Par exemple, nous pourrions calculer leurs masses à

> partir d'estimations de leur tailles et compositions, et de cette manière, les situer dans l'ordre de la masse. Ce qui soutient ce contrefactuel, c'est le fait que ces objets *ont effectivement leurs places dans l'ordre de la masse* et que la quantité est en relation nomique avec les autres quantités (volume, densité, cette dernière se dérivant des données concernant la composition de ces objets). Les conditions de vérité de ce contrefactuel font donc référence à l'ordre de la masse. Or, nous sommes tout à fait libres de faire référence à une quantité, et nous ne prétendons pas prouver son existence. Nous avons postulé l'existence d'ordre linéaires dans la nature, et maintenant nous énonçons les conditions d'appartenance pour les classes en question. (Forge, 1987, pp. 301-302)

Voici comment on peut reconstruire le problème. Dans la pratique concrète, on ne dispose jamais de tous les particuliers du domaine empirique de m. On ne dispose que d'une sous-classe finie composée d'un étalon e et des objets mi effectivement mesurés, entre lesquels et l'étalon on a opératoirement établie les relations n_i^e : « être n fois plus massif que e ». On dit alors qu'on a construit un système physique de particuliers $S_e =< e, m_i, n_i^e >$. La question est alors de savoir si on a le droit, et pourquoi, de considérer que S_e est une sous-structure d'une structure plus vaste, qu'il découvre partiellement. Or assurément, les particuliers e et mi sont aussi éléments de la structure Sm, en tant que particuliers massifs. Donc toute la question concerne les relation n_i^e : a-t-on le droit, sans présuppositions contraires au nominalisme, d'y reconnaître des relations structurant Sm, à savoir des relations comme « être n fois plus massif que » ? C'est exactement la question posée par Forge : est-ce que les particuliers que l'on pourrait mesurer en étendant le système physique S serait situés dans la structure objective Sm ? que présuppose-t-on, quand on dit qu'il existe une structure Sm valant pour les particuliers massifs, qui les rend mesurables, et dont notre système physique construit S est la découverte partielle ?

Précisons en quoi interpréter le système construit comme une partie de la structure Sm plus vaste, fonde l'objectivité des mesures ainsi obtenues dans ce SRM. Revenons à notre exemple du sac de farine que l'on mesure comme ayant une masse de « 3 kilogramme-étalon ». Cette détermination métrique, « 3 kg », fait partie d'un SRM qui décrit le système physique que l'on a construit en posant effectivement ce sac sur le plateau d'une balance, pour le comparer au particulier pris pour étalon, le kilogramme. Selon la théorie QSE d'Ellis-Forge, cette mesure a une signification objective (et la propriété mesurée dans ce sac de farine, le caractère massif, est effectivement mesurable), parce que tous les objets massifs forment une structure empirique Sm. En construisant opératoirement le système physique de la balance, avec le sac de farine et le kilogramme étalon, on a découvert une partie de cette structure Sm plus vaste. En quoi cela fonde-t-il l'objectivité de la mesure ? En ceci, simplement, que le fait relationnel découvert, et désigné par la détermination métrique « 3 kg » attribuée au sac de farine, peut-être désigné autrement, en se plaçant si l'on peut dire d'un autre point de vue au sein de cette structure. Comme tout autre objet dans cette structure peut servir d'étalon, on peut construire

opératoirement un système physique différent du premier, qui découvre autrement la structure Sm. Par la mesure, on établirait une autre relation entre le sac de farine et cet autre étalon e', comme la livre. Dans ce nouveau SRM, le sac de farine recevrait la détermination métrique « 6,6 livres ». Le fait que ces deux déterminations métriques désignent le même fait objectif concernant le sac de farine, la « magnitude » de sa masse, est garanti par l'existence d'une transformation du nombre « 3 » en le nombre « 6,6 » qui est réglée par la relation entre le premier et le second étalon. Autrement dit, c'est le fait que le premier étalon lui-même soit placé dans la structure Sm, et donc mesurable par rapport à la livre (le kilogramme a une masse de « 2,2 livres ») qui fonde l'objectivité de nos mesures du sac de farine. Donc, le fait de dire que le premier système physique n'était qu'une partie de la structure empirique Sm ne permet de fonder l'objectivité des mesures qu'à la condition de donner à l'étalon « kilogramme » une place dans cette structure Sm, qui le fait entrer par exemple dans la relation « avoir une masse 2,2 fois plus grande » avec cet autre particulier, la livre.

Or cela a une conséquence concernant les relations qui structurent Sm. Au sein de la structure Sm, le fait que mi et e soient dans la relation $r_{mi,e}$ « être 3 fois plus massif » possède la même signification objective que les faits que mi et e' soit dans la relation « 6,6 fois plus massif » *et* que e et e' soient dans la relation « 2,2 fois plus massif ». Autrement dit, le fait relationnel « $r_{mi,e}$ » est équivalent au fait composé de deux relations : $r_{mi,e'}$ et $r_{e,e'}$. On peut alors généraliser en remplaçant l'étalon e' par tout autre objet mj qui peut être pris pour étalon, et dire :

> *Principe d'extension des relations : la relation $r_{mi,e}$ découverte par la mesure, et désignée par un nombre (« 3 »), a une signification objective seulement si elle fait partie d'une classe de faits relationnels équivalents : la relation $r_{mi,e}$ (entre m_i et l'étalon e) est équivalente à la relation entre tout < $r_{mi,mj}$ et $r_{e,mj}$> (où m_j est tout autre particulier de la classe des particuliers massifs, qui est un autre étalon possible).*

La solution de Forge pour justifier ce postulat d'extension n'est pas satisfaisante. Elle revient à postuler l'existence de l'ordre linéaire (de la structure) entre ces objets massifs, même ceux non-mesurés. Selon lui, il faut fonder la vérité d'un contrefactuel : si on avait accès à ces objets non-observés, alors ils se verraient assigner une place dans cette structure. Mais en disant cela, on ne fait que dire que les objets qui sont m sont mesurables en m : on montre que postuler une structure pour la place des m et dire que les objets sont mesurables sont deux propositions équivalentes, ce qui ne nous fait pas avancer dans la découverte du fondement de la mesurabilité. Or Forge indique lui-même ce que serait ce fondement : que cet ordre (ou cette structure) soit réel bien que nous ne l'ayons pas découvert par nos constructions opératoires, parce que les objets non mesurés « *ont effectivement leurs places dans l'ordre »* (de la masse) : cela est une proposition ontologique dont on ne peut pas rendre compte à l'intérieur du cadre nominaliste.

Dans la section 4.3.2., nous proposons une justification de ce principe. Mais alors cela, et en regardant de près ce principe, on voit qu'il énonce une équivalence entre la relation $r_{mi,e}$, qui tient *entre deux particuliers*, et des relations qui, ailleurs dans la structure Sm, tiennent *entre des relations*. $r_{mi,e}$ est équivalente par exemple à la relation entre les relations $r_{mi,e'}$ et $r_{e,e'}$. Il y a là une étrangeté dont il est intéressant de rendre compte, car elle est liée au fait que le particulier e a été choisi comme étalon.

4.3.1.2. Nombres et proportions.

On interprète généralement cette classe d'équivalence entre faits relationnels comme caractérisant une *proportion*. On suit ici l'analyse qu'en donnent (Bigelow & Pargetter, 1988), qui s'inspirent largement de la théorie frégéenne des quantités et des nombres réels conçus comme relation de proportion (ou ratios) entre magnitudes[71]. Posons que les nombres comme « 3 » sont pris pour désigner des relations de proportion. On définit ici une relation de proportion *n:m* comme une relation *de second ordre* entre les relations « être n fois plus massif que » et « être m fois plus massif que ». Par exemple, les relations $r_{mi,e'}$ « être 6,6 fois plus massif que » et $r_{e,e'}$ « être 2,2 fois plus massif que » sont dans la proportion 3. On peut alors définir une classe d'équivalence correspondant à la proportion 3, et associée au nombre « 3 », qui réunit toutes les paires de relations déterminée (de masse, ici) qui sont dans la proportion 3.

Le principe d'extension des relations énonce que le résultat d'une mesure, par laquelle on établit que mi est dans la relation « 3 fois plus massif » que l'étalon e, et a donc une masse de « 3 e », a une signification objective si et seulement si la relation établie $r_{mi,e}$ appartient à la classe d'équivalence de la proportion 3. Mais comment la relation $r_{mi,e}$ peut-elle être équivalente à des paires de relations comme $< r_{mi,e'}$ et $r_{e,e'} >$? Et de façon tout à fait parallèle, comment le nombre « 3 » dont on vient de dire qu'il désigne une relation de proportion entre *relations* (de masse), peut-il maintenant désigner aussi une relation de masse $r_{mi,e}$ de premier ordre (« 3e ») ? Nous sommes-là au cœur du problème de l'objectivité métrique : c'est par le choix d'un étalon que le nombre 3 est appliqué pour désigner non plus seulement une relation de proportion (entre relations), mais directement une relation avec l'étalon ; mais, pour que cette application soit légitime, et que la mesure « 3 e » ait une signification objective, il faut que la relation $r_{mi,e}$ soit associée à la classe d'équivalence du nombre « 3 ». On dit alors, en général, que $r_{mi,e}$ appartient à la classe de la proportion 3 parce qu'elle est elle-même en relation de proportion 3 avec le fait que l'étalon e soit « de la même masse que » lui-même. Autrement dit, malgré le choix conventionnel d'un étalon, les nombres appliqués aux relations $r_{mi,e}$ établies par la mesure (avec les déterminations métriques numériques « n e » d'un SRM construit) désignent des faits objectifs par raccourci : ils désignent en réalité les relations de proportions entre les $r_{mi,e}$ et le fait que l'étalon soit

[71] Voir (Frege, 1903, p. 156) et (Dummett, 1991) ch. 22.

identique et égal à lui-même. Cette remarque sera essentielle dans la suite, nous y reviendrons à la section 4.3.2.3.

4.3.2. Les deux postulats de l'idéalisation métrique.

Dans cette dernière section, nous allons montrer qu'on ne peut pas justifier le postulat d'extension des relations dans le cadre nominaliste, et qu'il implique au contraire des présuppositions non-nominalistes. Plus précisément, nous pourrons montrer que ce postulat implique que les particuliers composant et entrant dans la structure ne sont rien d'autre que les places de cette structure, c'est-à-dire des faisceaux de relations particularisées. Nous entendrons par « faisceau de relations particularisées » un particulier qui n'est pas concret mais *abstrait*, et qui n'a aucune caractéristique intrinsèque mais est entièrement *relationnel*. Mais comment franchir le fossé entre le postulat d'extension des relations, qui est épistémologique (il est requis par l'objectivité de la mesure), et ces conséquences ontologiques sur la nature des particuliers mesurés ? Il nous faut évidemment analyser plus avant en quoi consiste le fait de postuler une extension *relationnelle* d'une structure, et pour cela, nous allons scinder l'unique postulat en *deux* postulats *d'idéalisation*, qui nous conduirons plus facilement aux implications ontologiques. Expliquons-le.

Nous partons d'une situation épistémologique où un système physique Se (décrit par un SRM), fini et construit par nos opérations de mesure, est interprété comme une sous-structure découverte et extraite de Sm. Autrement dit, on postule seulement que la structure Sm est une extension de Se sans présupposer que c'est une extension *relationnelle*, puisque c'est l'aspect qu'il faut analyser. De plus, on suppose que la structure Sm est, conformément à la théorie QSE, une structure de particuliers empiriques à quoi on peut identifier une propriété quantitative *mesurable*. Autrement dit, ce qu'est la structure Sm rend possible la détermination de mesures objectives dans un SRM.

De ces deux prémisses, nous allons dériver deux postulats d'idéalisation qui sont nécessaires pour maintenir l'objectivité de la mesure. Enfin, la validité de ces deux postulats aura des implications ontologiques : l'identification de ces particuliers qui composent et entrent dans la structure aux places de la structure elles-mêmes, et donc la négation de la conception nominaliste de ces particuliers, comme *concreta* qui *occupent* des places de cette structure.

4.3.2.1. Deux présuppositions d'idéalisation : sélection et exclusion.

Pour cela, nous allons montrer qu'il faut faire deux postulats d'idéalisation : en considérant Se comme la découverte d'une structure objective Sm, qui est aussi constructible à partir d'un autre étalon (i.e. qui est l'extension constructible d'autres Se), on opère des idéalisations sur les particuliers et relations composant le Se *actuel*. Notre but est ensuite de montrer que, pour être valides, ces postulats

d'idéalisation impliquent comme présupposition ontologique la thèse, déjà présentée plus haut, de l'étalon-magnitude. Selon cette thèse, pour que notre SRM construit à partir d'un étalon e ait la même signification objective qu'un autre SRM construit sur e', il faut que l'étalon e soit lui-même une magnitude, c'est-à-dire quelque chose qui soit objectivement désignable par une détermination métrique dans un autre SRM. Nous allons désormais retrouver cette thèse de l'étalon-magnitude en termes directement ontologiques, comme une thèse portant sur la nature ontologique du particulier étalon e.

Or, idéaliser revient à sélectionner des traits ou des faits qui sont pertinents et nécessaires pour l'objectivité de la mesure, et évacuer des traits ou faits qui ne sont pas pertinents ou qui rendraient la mesure problématique. Nous listons donc deux postulats d'idéalisation : un postulat de sélection et un postulat de sélection, qui conjointement impliquent une conception de la nature ontologique de l'étalon e. Énonçons ces deux postulats, avant de les justifier.

Premièrement, le particulier qu'on prend pour étalon, au moment de la mesure, en le faisant entrer dans la relation opératoirement attestée avec le particulier mesuré mi, comme ce sac de farine, est considéré seulement comme instance d'un faisceau de relations avec d'autres particuliers m_j de la structure Sm (comme la livre). Autrement dit, l'étalon que l'on désigne par le « kilogramme » est pris pour un particulier-étant-en-m-relations-déterminées. Ce postulat impliquera, ontologiquement, que le particulier e est un état de fait *relationnel* et certainement pas un individu que l'on pourrait considérer isolément, sans rien supposer de ses relations à tous les autres particuliers massifs mj. Deuxièmement, cet état de fait que l'on prend comme étalon, le particulier-étant-en-m-relations, est considéré *abstraction* faite de toute caractéristique singulière qui le distinguerait, par exemple, d'un autre particulier entrant dans les mêmes relations. Le kilogramme étalon est égal, qu'on le situe dans cet objet concret ou cet autre standard. Autrement dit, l'étalon désigné par le « kilogramme » est quelque chose qui est « une instance de ces m-relations » et qui ne se distingue pas autrement (et surtout pas *solo numero*) des autres particuliers massifs. On en déduira qu'il est un particulier abstrait et non un *concretum*.

4.3.2.2. Premier postulat de sélection (des aspects relationnels).

Premièrement, lorsque nous disons que l'étalon e est tel qu'en mesurant la masse de l'objet mi dans le système physique Se, nous construisons une relation $r_{mi,e}$ qui est une relation de la structure étendue Sm, nous ne désignons par « e » non pas un particulier isolé comme ce volume de métal ayant la masse étalon d'un kilogramme, mais nous désignons un particulier seulement en tant qu'il a certains traits pertinents : le fait qu'il entre dans de multiples m-relations avec tous les autres particuliers du domaine de m. En effet, on exprime la relation construite par la comparaison de m_i à e par la détermination métrique « 3 kilogrammes » dans le SRM construit. Cette détermination métrique n'a de signification objective que si la relation $r_{mi,e}$ mie tient avec un étalon e qui a lui-même une place

déterminée dans la structure Sm, c'est-à-dire est en relations déterminées de masse avec tous les autres objets de Sm. Ce qui dans le particulier étalon est pertinent, c'est donc le fait qu'il soit dans ces m-relations.

Pour montrer la nécessité de ce postulat de sélection des aspects relationnels, il suffit de se rappeler l'argument tiré de la modification ou de la déformation subies par le particulier manipulé comme étalon. Plus haut, nous avons dit que la thèse de l'étalon magnitude permet de considérer comme *distincts* des SRM construits sur un particulier qui a changé de magnitude, où l'on voit donc deux étalons distincts et non un seul. Cette thèse se traduit ici par le fait que l'étalon e a une place déterminée dans la structure Sm. Si le particulier étalon s'use ou est déformé, et que donc il change de place dans Sm, alors en réalité on change d'étalon : on prend pour étalon le fait « ce particulier entrant dans les relation m' » et non plus « ce particulier entrant dans les relations m ». Or pour cela il faut que e soit pris non pas comme un particulier isolé, doté seulement de caractéristiques intrinsèques, mais comme un particulier-en-relations c'est-à-dire un état de fait relationnel particulier. Donc la première idéalisation dit : l'étalon est un particulier ayant des relations déterminées avec les autres objets de Sm. C'est peut-être encore un particulier concret, mais un particulier entrant en tout cas dans des relations structurelles déterminées.

4.3.2.3. Second postulat d'exclusion des différences concrètes.

Deuxièmement, un second postulat d'idéalisation évacue dans le fait particulier pris comme étalon les traits non pertinents. On vient de voir que le particulier pris comme étalon est un particulier-entrant-dans-certaines-relations. Mais si l'étalon e était considéré comme un objet concret et manipulé, c'est-à-dire « *cet* individu concret entrant dans des m-relations déterminées avec les autres m_i », alors il y a ou peut y avoir d'autres particuliers concrets, au moins numériquement distincts, qui entrent dans les mêmes relations avec exactement les mêmes autres m_i. Il y aurait une diversité de *standards* de l'étalon e : s1, s2, etc. sur lesquels on pourrait bâtir des systèmes physiques pourtant *différents et distincts* Se, Ss1, Ss2, etc. Et on devrait alors considérer que ces divers systèmes sont des parties différentes de la structure générale Sm. D'après ce point de vue, on devrait admettre, pour le dire simplement, que la structure empirique Sm est telle que plusieurs particuliers peuvent occuper en elle une même place. Il suffirait que ces particuliers soient entre eux dans la relation « être de même masse que ». Ce point de vue est largement partagé par l'approche empiriste et nominaliste sur la mesure.

Or c'est précisément cette diversité de particuliers « égaux » qui est évacuée dans le second postulat d'idéalisation : en considérant par l'étalon « e entrant dans les m-relations déterminées avec les autres m_i », on doit négliger et évacuer les traits qui distinguent les divers standards concrets et manipulés, comme leurs différences de localisation spatio-temporelle, ou bien leurs autres caractéristiques. Autrement dit, si on a deux standards concrets s1 et s2, qui sont distincts spatio-temporellement, alors le véritable particulier dont on se sert pour bâtir Se n'est ni « s1 entrant dans les

m-relations déterminées avec les autres m_i », ni « s2 entrant dans les m-relations déterminées avec les autres m_i », mais l'aspect abstrait qui leur est commun, c'est-à-dire précisément « un particulier entrant dans les m-relations déterminées avec les autres m_i », c'est-à-dire « un particulier étant instance du faisceau de relations *r* ». On doit donc faire une idéalisation qui évacue les traits singuliers par lesquels un standard est concrètement distinct d'un autre, et l'étalon e ne peut être rien d'autre que le même aspect abstrait présent dans les divers standards concrets. Le second postulat d'idéalisation exige donc une abstraction, qui évacue les aspects distinctifs des standards concrets.

Pourquoi faire ce second postulat d'idéalisation, qui évacue les diversités concrètes ? Il découle de l'interprétation du système physique Se comme une partie découverte d'une structure objective Sm. En effet, il ne suffit pas pour cela que Se soit construit sur un étalon e qui occupe une place dans Sm, comme le dit le postulat de sélection. Il faut que la relation $r_{mi,e}$ construite dans Se et désignée par « 3 kilogrammes » appartienne à la classe d'équivalence de 3 $<r_{mi,mj}, r_{mj,e}>$, c'est-à-dire porte la même relation de proportion 3 qui est portée ailleurs dans la structure Sm. Nous touchons alors le point crucial : pour le nombre « 3 » soit légitimement appliqué à ce fait relationnel $r_{mi,e}$, il faut qu'il *ne soit pas* particularisé par le particulier concret servant de standard et manipulé dans la balance, et donc que son *relatum*, l'étalon « e », ne soit pas considéré comme un objet concret. Pour le justifier, nous donnons trois raisons successives. Ces trois raisons concernent précisément le sens à donner au fait que l'étalon e soit « égal et identique à lui-même », et donc compte pour « un ». En effet, on a vu à la section 4.3.1.2. que la détermination métrique « 3 kg » ne peut désigner la relation $r_{mi,e}$ du sac de farine à l'étalon que de façon indirecte : elle désigne en réalité la relation de proportion 3 entre $r_{mi,e}$ et le fait que l'étalon soit égal et identique à lui-même, « de même masse que » lui-même.

Premier argument.

Or, premièrement, les aspects par lesquels un étalon est considéré comme « étant de même masse que lui-même », constant et identique comme masse, sont précisément les aspects pertinents sélectionnés pour cela, d'après le premier postulat de sélection (i.e. les aspects relationnels et abstraits de l'étalon e, qui le placent en une place déterminée de la structure Sm). Il est *prima facie* totalement injustifié de dire que l'étalon e est considéré comme égal et identique à lui-même également pour les aspects qui en font un standard concret et individuellement distinct des autres standards, puisque ces aspects ne jouent aucun rôle dans l'objectivité de la mesure, comme le dit le premier postulat d'idéalisation. Il faut donc opérer une idéalisation par laquelle ces aspects individualisant sont exclus, et les divers standards identifiés en un seul particulier abstrait et unique, qui est le véritable étalon de nos mesures. Nous ne voyons aucune raison d'inclure dans les critères d'identité ou de distinction de l'étalon les aspects qui le distinguent concrètement de ses standards, et il nous semble que c'est alors au nominaliste de prouver la supériorité de son présupposé ontologique.

Mais une simple inversion de la charge de la preuve paraîtra peu convaincante. En particulier, elle ne permet pas de battre en brèche l'intuition encore très forte de la possibilité d'une diversité *solo numero* de particuliers, qui auraient les mêmes caractéristiques dans la quantité m, et occuperaient donc une même place dans la structure empirique Sm. Contre notre approche, où l'étalon e est un particulier *abstrait,* qui est *identifié à une place* de Sm, le nominaliste maintient qu'il faut considérer une pluralité de particuliers *concrets* qui *occupent une même place* de Sm. Les auteurs empiristes suggèrent même de définir l'égalité en m entre plusieurs concrets de façon opératoire : deux particuliers ont la même masse ou sont égaux en masse si et seulement s'ils ont les mêmes relations structurelles (ordre, etc.) aux mêmes autres objets (Nagel, 1931, p. 317).

Deuxième argument.

Avançons donc une deuxième raison pour laquelle il ne faut pas considérer, dans l'étalon, les aspects qui distinguent les divers standards concrets : si on le fait, en suivant au contraire la présupposition nominaliste, alors elle conduit à une conséquence absurde. En effet, nous avons noté (à la section 4.3.1.2.) que le nombre « 3 » ne peut être légitimement appliqué dans une mesure, et désigner objectivement la relation « 3 fois plus massif que » établie par une opération, que si l'étalon est strictement identique et égal à lui-même. Nous discutons ensuite de cette prémisse, mais admettons-là encore le temps d'un second argument : elle signifie simplement que l'étalon pris pour unité reste bien le même. Alors, dans ce cadre et si c'est bien à cette condition que le nombre est objectivement appliqué dans une mesure, la présupposition nominaliste entraîne des conséquences absurdes.

En effet, supposons que s1 soit le prototype international concret du kilogramme, conservé dans le pavillon de Breteuil, et s2 un sac de farine. En comparant le sac de farine au prototype, on en conclut que « le sac de farine fait 1 kilogramme » et on prête une signification métrique objective à ce résultat de mesure. Le nombre « 1 » désignerait alors une relation de proportion entre la relation $r_{mi,e}$ « être 1 fois plus massif que » (entre le sac et l'étalon) et la relation par laquelle le prototype du kilogramme étalon, objet singulier et concret, est identique à lui-même. La signification objective qu'on prête alors à la détermination métrique « 1 prototype du kilogramme » inclurait les aspects individuels de l'étalon concret : c'est mesurer « 1 » *de ce* kilogramme particulier. Mais dans ce cas, on ne peut pas permuter les standards tout en conservant aux résultats de nos mesures la même signification objective. Par exemple, en inversant les rôles, on pourrait avoir pour résultat de mesure que « le prototype de Breteuil a une masse de 1 sac de farine », sans pouvoir prêter à cette mesure (« 1 sac de farine ») la même signification métrique objective qu'à la première (« 1 prototype du kilogramme »). Par conséquent, refuser cette idéalisation par laquelle on exclut de ce qui est strictement identique à soi dans l'étalon tous ses aspects de standard concret, c'est par une sorte d'opérationalisme extrême tenir la permutation entre standards pour un changement de méthode de mesure, qui interdirait de prêter aux deux résultats la même signification objective. Cette conséquence est manifestement absurde et contraire à l'idée

même de « standards », donc le postulat d'idéalisation est justifié. Il ne faut considérer dans l'étalon que l'aspect abstrait qui fait de lui une magnitude déterminée ; on retrouve alors entièrement la thèse de l'étalon-magnitude défendue en 3.3.

Troisième argument.

Or on s'aperçoit facilement que notre précédent argument, comme signalé, repose entièrement sur une interprétation contestable du nombre « 1 » comme représentant l'identité stricte de l'étalon – ce qui conduit à concevoir l'étalon comme une magnitude déterminée. Il existe une autre interprétation qui fait du nombre « 1 » non pas le représentant de l'identité d'une magnitude mais de la relation d'égalité en masse entre particuliers concret distincts : « 1 » représenterait la relation « être de même masse que », non plus au sens de l'identité à soi de l'étalon, mais au sens de « être 1 fois plus massif que ». En passant à cette interprétation, on pourrait maintenir que la mesure « 3 e » représente objectivement une proportion, entre la relation « être 3 fois plus massif que » et la relation « être 1 fois plus massif que », sans avoir à identifier les différents standards en un seul particulier non concret. C'est la façon dont Bigelow et Pargetter l'interprètent :

> Un objet peut avoir une certaine relation de masse à un objet qui détermine notre *unité de mesure*. Peut-être, par exemple, a-t-il la relation « même masse que » avec cette unité. […] Dans ce cas, l'objet a une masse de 1 kg. Supposons ensuite qu'un autre objet ait une relation de masse différente avec l'unité : qu'il est « deux fois plus massif que » l'unité. Par-là, il a une masse de 2 kg. Le nombre 2 apparaît ici comme le signe que la relation de masse entre l'objet mesuré et l'objet pris pour unité est dans la proportion 2 à 1 avec la relation « être de même masse que », et le terme « kg » spécifie avec *quelle* unité cette relation est dans cette proportion. (Bigelow & Pargetter, 1988, p. 300)

Ici, Bigelow et Pargetter posent que la proportion 2 relie deux relations : « être deux fois plus massif que » et « être de même masse que ». Le nombre « 2 » dans une mesure désigne une proportion entre la relation (de masse) découverte et la relation « être de même masse que » qui relie deux objets concrets, par exemple les standards s1, s2, etc.

Or cette interprétation ne nous semble pas acceptable, pour deux raisons. Premièrement, pour que la proportion 2 soit le cas (ce que l'on veut, si « 2 e » est le résultat d'une mesure), alors il faut que la relation « être deux fois plus massif que » soit le cas (elle est établie par la mesure), mais aussi que la relation « être 1 fois plus massif que » le soit. Alors il faut supposer que pour tout particulier concret que l'on peut prendre pour étalon, c'est-à-dire tout particulier massif, il existe au moins un second particulier concret avec qui il peut être dans la relation « être 1 fois plus massif que ». Si un particulier

concret est le seul à avoir sa masse, la relation « être de même masse que » n'est pas le cas, et la mesure n'est plus possible ![72]

Mais la seconde raison est la plus forte. L'interprétation de Bigelow et Pargetter a une conséquence absurde, qui est à notre avis contredite par les pratiques réelles de mesure. Elle implique en effet qu'un énoncé comme « Ce sac de farine a une masse de 1 kg » n'a pas le sens qu'on lui prête ordinairement, c'est-à-dire le sens d'un *résultat de mesure*. Un tel énoncé ne peut avoir que cette signification plus pauvre : le sac de farine et un standard concret du kilogramme sont dans la relation « être 1 fois plus massif que » ou « être de même masse que », c'est-à-dire qu'une opération de comparaison les place à égalité en masse. On ne fait que dire qu'ils ont la même masse, et sont pratiquement substituables dans les mesures concrètes, mais on ne *mesure* pas la masse du sac de farine. C'est tout simplement la conséquence du fait qu'il faut choisir *conventionnellement* ce qui est représenté par le nombre « 1 », et par rapport à quoi tous les autres nombres, appliqués dans des mesures, gagnent une signification objective (et désignent une proportion). Le nominaliste ne peut pas avoir le beurre, en posant que « 1 » représente la relation d'égalité en masse entre objets concrets, et l'argent du beurre, en prêtant un sens métrique à l'énoncé qui attribue la mesure « 1 e » à un objet concret. Par conséquent, si l'on tient à ce qu'un énoncé comme « Ce sac de farine a une masse de 1 kg » ait un sens métrique, exprime une mesure, alors on ne peut pas postuler une relation comme « être 1 fois plus massif que » entre particuliers concrets comme servant d'unité, et entrant dans les proportions représentées par les nombres.

Ce que nous affirmons ici a une conséquence remarquable, qui distingue le nombre « 1 » des autres nombres applicables à des mesures : « 1 » ne peut pas représenter une proportion. En effet, nous venons de décrire une situation où un énoncé comme « le standard s2 mesure 1 s1 » est à la fois un résultat objectif de mesure et l'expression du choix d'un ensemble de particuliers égaux en masse (des standards) comme étalons de mesure. Or cette situation est très exactement une situation où on admet « 1 » comme une proportion, associée à une classe à la classe des paires de relations *identiques* <« être x fois plus massif que », « être x fois plus massif que »>. Dans l'énoncé « le standard s2 mesure 1 s1 », le nombre « 1 » y désigne à la fois la *proportion* entre la relation établie par la mesure « s2 étant 1 fois plus massif que » et la relation par laquelle « s1 est 1 fois plus massif » qu'un autre particulier – comme dans l'analyse de Bigelow et Pargetter, et le *choix* des standards s1, s2, etc. comme étalons comptant tous pour « 1 » dans nos mesures. Cette situation est incohérente, et par conséquent « 1 » ne représente pas une proportion.

[72] Bigelow et Pargetter ne sont pas directement touchés par cet argument, puisque chez eux la relation « être de même masse que » est certainement conçue comme un universel qui n'a pas besoin d'être instancié par des particuliers empiriques pour être le cas. Mais dans le contexte de la discussion présente, nous discutons d'une structure Sm qui est instanciée par des particuliers empiriques, donc les relations de masse ne sont le cas que si elles sont portées par des particuliers empiriques.

Une proportion est une relation entre deux relations quantitativement *différentes*, et cette différence est conçue mathématiquement comme ratio ou proportion, et représentée par un nombre. « 3 », comme tout autre nombre différent de « 1 », représente alors une proportion entre relations déterminées (de masse par exemple), et est donc associé à une classe de paires *différentes* de relations : l'ensemble des paires < « être 3 fois plus massif que », « être x fois plus massif que »>. Si c'est le nombre « 1 » qui ne représente aucune proportion, cela n'est ni absolu ni mystérieux, mais découle simplement du fait que « 1 » est l'élément neutre de la multiplication dans le corps des réels. Pour le dire intuitivement, cela signifie qu'au sein de la structure numérique représentant une échelle de ratios/de proportions (pour une grandeur extensive), tout nombre x multiplié (ou inversement, divisé) par le nombre « 1 » est identique à lui-même. « 1 » est en quelque sorte l'élément numérique qui, dans la structure des nombres, représente l'identité à lui-même de tout élément de la structure représentée. On pourrait très bien définir une autre opération que la multiplication sur le corps des réels, et confier ce rôle à un autre nombre. Mais dans le cas courant, cela signifie bien que le nombre « 1 » dans une mesure représente l'identité stricte de ce qui est compté comme unité. Or, d'après les deux premiers arguments, cela implique bien que l'étalon est à identifier à une magnitude, et non à un objet concret.

4.3.3. Conclusion : les présuppositions ontologiques de l'idéalisation.

Nous pouvons maintenant dériver la conception ontologique de la nature des particuliers mesurés, qui seule permet de fonder ces postulats d'idéalisation. Elle se résume en une thèse : les particuliers sont des magnitudes. En effet, d'après les deux postulats d'idéalisation, il faut considérer comme étalon un faisceau d'aspects abstraits qui est identique chez tous les standards, et non chaque standard individuel et concret. En conjoignant ces deux postulats, on retrouve exactement le principe d'extension des relations dégagé en 4.3.1. Mais il était utile de les distinguer et de les justifier séparément, car à eux deux, ils imposent une conception ontologique de la nature du particulier e pris comme étalon : en vertu du postulat de sélection (l'étalon est un particulier instanciant un faisceau de relations qui déterminent une place dans Sm) et du postulat d'exclusion (l'étalon est un particulier considéré abstraitement, comme n'étant rien d'autre qu'une instance de ces relations), tout particulier e pris comme étalon doit être considéré non pas comme un particulier concret mais comme une place dans la structure Sm, c'est-à-dire un particulier abstrait (au sens où un trope est abstrait) composé d'un faisceau de relations. Lorsqu'on tient ensemble les deux postulats d'idéalisation, on s'aperçoit que l'étalon est pris comme un fait relationnel abstrait : le fait d'être dans un certain nombre de relations déterminées avec tous les autres particuliers du domaine empirique d'une propriété, c'est-à-dire, le fait d'être une place déterminée dans une structure.

A partir de cette idéalisation nécessaire, nous allons pouvoir dériver des conséquences ontologiques concernant la nature de tout particulier d'une propriété mesurable. Comme tout particulier

mi qui est massif peut en droit être pris comme étalon pour construire un système physique fini qui découvre partiellement Sm, alors tout mi appartenant à la classe des particuliers massifs est identifiable, ontologiquement, à une place de la structure Sm. Or, enfin, comme Sm est la structure de tous les objets massifs, on peut dire qu'elle est une structure instanciée par des particuliers qui ne sont ontologiquement rien d'autre que des places déterminées de cette structure. Donc il faut nier que Sm soit une structure de *concreta*, comme le voulait le nominaliste.

Nous avons montré qu'une théorie QSE de la mesurabilité d'une propriété physique, qui la fonde sur l'existence d'une structure empirique objective des particuliers qui sont instances de cette propriété, ne peut offrir un véritable fondement à nos mesures que si on la conçoit comme une structure *d'abstracta*. Les *relata* de la structure empirique Sm ne sont rien d'autre que des tropes abstraits, particularisés comme faisceaux de relations déterminant une place particulière dans cette structure. Autrement dit, un particulier appartenant à la structure empirique objective n'est rien d'autre qu'une place dans cette structure. Nous pensons que cette théorie QSE non-nominaliste est effectivement le meilleur fondement que l'on puisse donner à l'objectivité de nos mesures. Si nous appelons bien « magnitudes » les différentes places dans la structure empirique Sm de la propriété physique m, alors nous voyons bien qu'elle est équivalente à ce qu'affirmait déjà la thèse de l'étalon-magnitude. Cette dernière affirmait que pour que les déterminations métriques dans un SRM construit à partir d'un étalon e désignent un fait objectif concernant le particulier mesuré, il faut que l'étalon e soit lui-même une magnitude de la grandeur M. Or tout particulier empirique appartenant au domaine de m peut être pris pour étalon (fait de la conventionalité de l'étalon), donc tout particulier empirique qui est massif n'est rien d'autre qu'une magnitude de la Masse. Ce dont on s'aperçoit maintenant, grâce au détour par la théorie des quantités comme des structures empiriques, c'est que cette thèse signifie ontologiquement que le domaine *empirique* des instances de la propriété m est la structure des *magnitudes* de la grandeur M. Par conséquent, la théorie QSE en sa version non-nominaliste est rigoureusement identifiable à l'ontologie DVQ, dans sa version structuraliste développée à la fin du chapitre IV.

Reste alors un dernier point à régler. Si tel est le cas, et que l'objet de la mesure (ce qui est mesuré) n'est pas le particulier concret manipulé, mais un particulier abstrait qui est une magnitude, comment rendre compte de la structure prédicative d'un énoncé métrique comme « ce sac de farine mesure 3 kilogramme », où on pourrait croire qu'on attribue une magnitude à un objet massif et concret, et où l'objet massif est distinct de la magnitude qu'on lui attribue ? Nous devons nier que ces énoncés métriques aient une telle structure prédicative, et que la mesure soit une attribution (d'une magnitude à un objet mesuré concret). Nous pouvons au contraire conclure de ce qui précède, premièrement, que ce qui est affirmé dans un énoncé métrique, comme « ce sac de farine mesure 3 kg » est un fait de nature relationnel, et deuxièmement que ce fait *est* la magnitude « 3kg ». Autrement dit, l'objet que l'on mesure, et que l'on dit « mesurer 3 kg », n'est pas autre chose que ce qu'on désigne par la détermination métrique « 3 kg ». Par conséquent, nous pensons tout simplement que les énoncés métriques comme « x

mesure 3 kg » n'attribuent pas une magnitude à un objet concret, mais disent en réalité « x est la magnitude de masse de 3 kg ». Autrement dit, un énoncé métrique est en réalité un énoncé existentiel : il n'attribue rien à un objet, mais il dit qu'une magnitude déterminée existe.

Chapitre VI : La mesure, approche représentationnelle

Dans ce chapitre, nous continuons d'examiner les conditions auxquelles on peut tenir pour objective l'application des nombres dans la mesure. D'où vient que les objets et phénomènes physiques sont *mesurables,* c'est-à-dire, à quelles conditions peut-on tenir l'application des nombres aux objets mesurés pour objective ? Ici, comme au début du chapitre précédent, nous utilisons le terme « objet » en un sens ontologiquement neutre, seulement pour désigner « ce que l'on mesure ». Et nous dirons que les mesures sont *objectives* lorsque, malgré les conventions plus ou moins arbitraires que doivent faire les scientifiques, elles contiennent des informations physiques concernant ces objets mesurés. Notre but est à nouveau de montrer que cette objectivité des mesures implique la théorie ontologique de l'instanciation proposée dans les chapitres précédents, comme sa condition de possibilité.

Dans le précédent chapitre, nous avons analysé les choix de *construction*, en étudiant de près les bénéfices et les limites de l'approche opérationnelle. Maintenant, nous allons porter l'attention sur les choix de *représentation*, et considérer les conventions qui établissent une représentation numérique : choix d'une structure numérique (ordinale, additive, multiplicative, etc.), et choix d'assigner le nombre « 1 » à l'unité ou, de façon plus générale, choix d'une correspondance entre cette structure numérique et l'ensemble des objets mesurés.

Toutefois, et malgré ces éléments de continuité entre les deux chapitres, nous basculons ici d'une approche opérationnelle sur la mesure à une approche représentationnelle, et il faut en expliquer les spécificités. Avec l'approche représentationnelle, les nombres appliqués en mesure ne sont plus interprétés comme *résultats* particuliers d'opérations de mesure, mais comme éléments d'une structure numérique choisie et appliquée comme un tout. On appelle ces structures des « échelles de mesure ». Mesurer un objet revient à lui attribuer une place dans une échelle, et donc l'associer à un nombre de cette structure. Une échelle de mesure est donc une structure appliquée par l'association un à un de ses éléments aux objets d'un domaine. Jusqu'à ce que nous passions aux considérations ontologiques, nous désignerons par « domaine d'objets » l'ensemble des objets mesurés et représentés par une échelle, sans déterminer s'il s'agit d'objets au sens de particuliers empiriques et concrets, ou bien de propriétés. La détermination de la nature ontologique des objets de la mesure est le but de ce chapitre, comme du précédent.

Pour y parvenir, nous poserons la question de savoir à quelle condition un élément de cette représentation mathématique, un nombre assorti d'une unité, permet de représenter un trait physique effectif de l'objet mesuré. L'approche opérationnelle va de bas en haut, considère la construction concrète d'un SRM dont les éléments (les déterminations métriques) reçoivent une signification physique comme résultats d'opérations de mesure, et se demande à quelle condition cette signification

est objective. L'approche représentationnelle fait le chemin inverse. Elle considère une structure mathématique en entier, l'échelle métrique, pour se demander à quelles conditions ses éléments (les nombres et leurs relations structurales) peuvent porter des informations objectives et être objectivement appliqués à un domaine d'objets mesurés.

Nous commencerons par présenter les bénéfices de l'approche représentationnelle, qui offre un cadre pertinent pour justifier le choix d'une structure numérique pour représenter un domaine d'objets mesurés (section 1.), avant d'examiner les limites de ses réponses aux problème de l'objectivité de la mesure (section 2.). Ensuite, nous verrons comment elle nous permet d'étudier la convention par laquelle on coordonne les nombres d'une structure avec les objets mesurés (choix de l'unité), en mettant en lumière un problème d'interprétation de la dimension modale des échelles de mesure (section 3.). Une échelle de mesure contient des éléments qui correspondent à des mesures possibles mais non effectuées, auxquelles il faut pourtant donner une signification objective. Nous examinerons alors la réponse ontologique que les théories de Swoyer et Mundy apportent à ce problème, qui associent ces mesures possibles à des propriétés (ou universaux) non-instanciées (section 4.). Devant les problèmes posés par ces théories, nous argumenterons alors en faveur de notre interprétation structuraliste des propriétés mesurables ou quantités (section 5.).

1. L'approche représentationnelle : la mesure comme représentation structurelle.

Dans cette première section, nous commençons par expliquer comment l'approche représentationnelle nous permet de poser à nouveau frais le problème de l'objectivité de la mesure, en l'envisageant comme un problème de *représentativité* des échelles numériques ; et nous y présentons les principales réponses apportées par cette approche.

1.1. Le problème de l'objectivité comme problème de représentativité.

Expliquons d'abord pourquoi le problème de l'application objective des mathématiques en mesure est reformulé, suivant l'approche représentationnelle, comme un problème de *représentativité* des structures numériques. Or, comme l'établissement d'une représentation mathématique répond à des choix conventionnels, nous devons ensuite lister ces conventions pour dessiner le plan de leur examen qui suivra.

1.1.1. Problème général de la représentativité.

Dans sa signification commune – qui n'est pas la signification technique qui. Sera définie plus bas, une échelle de mesure d'une grandeur est une structure numérique associé à une unité. Appliquer une échelle, c'est alors associer chaque objet du domaine représenté un nombre et donc une place dans cette échelle. Par exemple, à ce sac de farine, on associe l'élément « 3 kg » de l'échelle de mesure de la Masse, et à ce pavé de métal, l'élément « 1 kg », etc. Or à ces éléments de l'échelle sont attachées des informations mathématiques, comme les relations qu'ils entretiennent entre eux et avec tous les autres éléments. Par exemple, « 3 kg » est dans le ratio 3:1 avec « 1 kg » ; ou encore, et « 1 kg », « 2 kg » et « 3 kg » sont dans cette relation : « 3 kg – 1 kg = 2 kg ». Comme structure numérique, une échelle pourvoit donc des informations concernant ses éléments. La question de l'objectivité métrique, telle que l'approche représentationnelle permet maintenant de la poser, est de savoir si toutes ces informations mathématiques peuvent avoir une interprétation physique, c'est-à-dire nous dire quelque chose concernant les objets physiques représentés. Par exemple, le ratio 3:1 entre les nombres 3 et 1 représente-t-il une authentique relation physique « être trois fois plus massif que » entre le sac de farine et le pavé de métal ? L'intervalle de 2 entre 3 et 1 signifie-t-il qu'on peut additionner les masses représentées par « 1 kg » et « 2 kg » pour obtenir une masse de « 3 kg » ? De façon générale, par quel critère distinguer les informations auxquelles on peut prêter une interprétation physique de celles qui ne sont que des caractéristiques de la représentation, sans signification physique ?

Or, il s'agit de savoir quelle objectivité peut avoir une représentation mathématique en sachant qu'elle est le résultat de choix de représentation qui comportent des éléments arbitraires ou conventionnels. Comme ces choix et conventions sont différents de ceux traités plus haut selon l'approche opérationnelle, et s'y ajoutent, les deux approches sont rigoureusement complémentaires pour résoudre le même problème de l'objectivité métrique. Mais la formulation de la question change : on ne demande plus ce que doit être une propriété physique pour être dite mesurable, mais quelles sont les conditions auxquelles on peut donner aux éléments de la représentation mathématique et à leurs relations une interprétation physique, malgré les choix conventionnels de représentation. Quelles sont, en d'autres termes, les conditions de la représentativité objective des échelles numérique en mesure ?

Nous listons deux catégories de choix arbitraires ou conventionnels. En premier lieu, le choix de la structure numérique utilisée dans la représentation : quels nombres utiliser ? quelle structure choisir pour ces nombres, parmi des structures plus ou moins riches (ordinale, d'intervalles, de ratios) ? En second lieu, la convention de coordination entre le domaine d'objets représentés et l'ensemble des nombres, par laquelle on attribue par exemple le nombre « 1 » à un objet et non à un autre (choix de l'unité). Le premier type de choix représentationnels, qui regroupe tous les choix de structure, a été le plus étudié, et nous commencerons par lui dans cette section 1. et dans la suivante. Ce n'est qu'à partir de la section 3. que nous aborderons le problème de la coordination entre les objets mesurés et la structure de nombres, qui pose en réalité les problèmes métaphysiques les plus redoutables.

1.1.2. Les choix représentationnels.

Le premier groupe de choix détermine la richesse d'une représentation mathématique, et pose par conséquent directement le problème de sa représentativité. Lorsqu'on met en place une représentation scientifique et mathématique d'un phénomène, on souhaite une structure mathématique au moins suffisamment riche pour pouvoir capturer les traits pertinents du domaine d'objets représentés. Mais l'outil représentationnel peut avoir plus que la richesse structurelle suffisante, et contenir des informations mathématiques sans interprétation physique. On souhaite alors avoir un critère pour distinguer les propriétés de la structure qui ont une interprétation physique de la « structure excédentaire » (*excess structure*), si on ne peut pas ou ne veut pas se passer de cette dernière en raison des bénéfices inférentiels qu'elle procure. Quoiqu'il en soit, la mise en place d'une échelle numérique relève bien de choix représentationnels. Nous en comptons deux : en premier lieu, on choisit l'extension de l'ensemble des éléments de la structure – c'est-à-dire la cardinalité de la structure (en voulant qu'elle ait au moins autant d'éléments qu'il y a d'objets dans le domaine à représenter), et en second lieu, on choisit la richesse de la structure en définissant des relations sur ces éléments.

Concernant le premier choix, celui de la cardinalité de la structure, il faut distinguer le cas des représentations finies et discrètes de celui où la structure contient une infinité, la plupart du temps indénombrable, d'éléments, comme lorsqu'on utilise la structure des nombres réels. Dans le cas où la représentation contient un nombre entier fini d'éléments, nous n'avons pour l'instant rien de plus à dire que la contrainte représentationnelle élémentaire : il faut au moins autant d'éléments de la représentation que d'objets dans le domaine représenté. Dans un modèle du système solaire, avec une étoile et huit planètes, il faut au moins neuf objets dans la représentation. Ou encore, pour représenter un ordre de 26 objets, on peut utiliser tout ensemble d'au moins 26 nombres entiers naturels. Le choix du cardinal paraît donc entièrement dépendant d'une connaissance ou d'une hypothèse préalable concernant le nombre d'objets dans le domaine à représenter.

Dans le cas des structures numériques non finies, il y a un choix représentationnel à faire entre différentes structures : choisit-on la série des entiers naturels N ? Lui préfère-t-on la structure des réels positifs R+ ? Ou bien encore le corps des réels muni de l'addition <R, +> ? Concernant l'arbitrage entre la structure des entiers et une structure de réels, il est clair que le choix ne concerne pas que le nombre d'éléments de la représentation, mais aussi les propriétés structurales du domaine d'objets que l'on veut représenter : sa discrétion ou sa continuité. Ce choix a donc plus trait au second groupe de choix. Mais lorsqu'on sait ou fait l'hypothèse que le domaine à représenter est continu, comme souvent dans la mesure d'une propriété physique, on peut avoir à choisir entre R+ ou R entier, en se demandant si, par exemple, la partie « négative » des nombres réels ne serait pas de l'*excess structure*. Par exemple, pour représenter la température, on choisit la structure des réels positifs seulement, alors que pour représenter

la charge, les réels négatifs sont aussi utilisés. Nous avons donc besoin d'un critère pour justifier que la partie négative de la structure des réels soit objectivement applicable dans le cas de la charge, et ne serait qu'une partie excédentaire de la représentation dans le cas de la température. Ici, nous faisons comme si le choix de la cardinalité pouvait être indépendant, dans le cas des cardinalités infinies, du choix de la richesse des propriétés structurale de la représentation, ce qui n'est peut-être pas le cas, nous y reviendrons.

Concernant le second choix, qui paraît alors le plus important, il revient à choisir une structure avec une plus ou moins grande force représentationnelle, en courant donc le risque d'établir une représentation trop, ou pas assez riche pour le domaine d'objets représentés. C'est à l'étude de ce type de conventions que l'approche représentationnelle de la mesure a le plus contribué. Swoyer écrit :

> Dans le cas de la mesure d'une grandeur extensive, il y a trois sortes de convention. Premièrement, le choix de l'unité est clairement quelque chose dont on doit décider. Deuxièmement, on fera un tri entre différents systèmes numériques à utiliser pour la représentation ; par exemple, on pourrait utiliser les réels positifs munis de l'addition, ou bien les réels munis de l'addition, ou encore une extension comme les réels non-standards, etc. Le choix du système numérique qu'il faut utiliser pour représenter des faits concernant une grandeur dépendra, en partie, d'une tradition et des systèmes qui nous sont familiers, mais on peut néanmoins dire que le système sélectionné doit avoir assez de structure pour représenter ce que nous pensons être les faits objectifs fondamentaux de la grandeur que nous voulons mesurer. Par exemple, <R+,< > n'a pas assez de structure pour capturer des caractéristiques centrales des grandeurs extensives. Enfin, c'est par convention que nous utilisons les réels munis de *l'addition*. On note souvent qu'on peut transformer une échelle de ratio dans les réels munis de l'addition en une échelle dans les réels munis de la multiplication, par exponentiation. Cette nouvelle échelle, multiplicative, contient les mêmes informations que l'échelle originale, additive. […] De telles échelles représentent simplement les mêmes faits objectifs de façons légèrement différentes. (Swoyer, 1987, pp. 257-258)

Si nous classons un minimum ces conventions, il y a, pour commencer, un choix purement arbitraire à faire entre des outils à la force représentationnelle équivalente. Par exemple pour représenter un ordre de 26 objets, la suite des lettres de l'alphabet peut aussi bien servir à représenter cet ordre entre objets que tout ensemble de 26 nombres entiers naturels. Ou encore, pour représenter une grandeur extensive, le choix des réels munis de l'addition plutôt que des réels munis de la multiplication : il est clair que c'est l'habitude et la tradition qui nous imposent l'usage d'une échelle additive plutôt que multiplicative. Donc on a besoin d'une explication du terme de « force représentative » pour expliquer en quoi différents outils représentatifs sont équivalents. Mais il y a, surtout, un choix qui n'est pas arbitraire mais qui doit se faire en ayant conscience des traits structuraux du domaine d'objets à représenter : le choix entre des structures numériques aux propriétés structurales plus ou moins riches. A leur sujet, quelles sont les principales conclusions de l'approche représentationnelle ?

1.2.La réponse représentationnelle au problème de l'applicabilité.

Nous présentons ici les principaux résultats de l'approche représentationnelle, avant de les évaluer et d'en montrer les limites dans la section 2.

1.2.1. Une approche structuraliste de l'application.

L'approche représentationnelle a permis une étude systématique des fondements méthodologiques et physiques de l'applicabilité des différentes structures numériques à la mesure d'une propriété physique. Comme l'explique Swoyer, on peut faire remonter l'approche représentationnelle aux travaux de Helmholtz, Holder et Campbell sur la mesure à la fin du 19ème siècle ou au début du 20ème, et plus récemment, à (Stevens, 1946), (Suppes, 1969) et (Krantz, et al., 1971)[73]. Elle nous apprend que pour être objectivement représentable par une certaine échelle numérique, le domaine d'objets auquel on l'applique doit être ordonné et structuré d'une manière spécifique. Mais elle nous apprend également qu'on peut représenter ce domaine par une échelle qui a une structure plus riche, qui contiendra alors des informations qui ne seront pas physiquement signifiantes. Voici comment Swoyer résume la réponse que l'approche représentationnelle fournit à cette question :

> Selon cette analyse, lorsque nous établissons une échelle de mesure, pour mesurer par exemple les longueurs en mètres, nous mettons en place une correspondance entre les longueurs des objets et les nombres entiers positifs. Chaque longueur est appariée avec un représentant numérique qui lui correspond (par exemple, le mètre-étalon, ou sa longueur, est apparié avec 1), et les propriétés relationnelles fondamentales et qualitative, comme « être plus long que » sont corrélées avec des relations numériques correspondantes, comme >. Grosso modo, disons que le système numérique représentatif a la même structure que l'ensemble d'objets, de longueurs variables si, certains objets concrets se tenant dans des relations données, alors leurs représentants numériques se tiennent dans les relations numériques correspondantes ; par exemple, le nombre représentant l'objet a est inférieur au nombre représentant b si a est plus court que b ». (Swoyer, 1987, p. 248)

La réponse représentationnelle est donc de nature structuraliste. La capacité d'une échelle de mesure à représenter par des propriétés et relations mathématiques des traits objectifs du domaine représenté y est conçue comme une similarité de structures. Pour arriver à ces résultats, l'approche représentationnelle s'appuie sur la théorie mathématique des groupes et des morphismes, et en

[73] Cette approche a une portée bien plus large que la seule théorie de la mesure, et Suppes la propose initialement comme un cadre général pour étudier les rapports entre théories et phénomènes.

particulier, sur les théorèmes de représentation et d'unicité, qui permettent de dire à quelles conditions une structure numérique représente un domaine d'objets. Cette approche permet donc en principe de résoudre le problème de l'applicabilité objective des structures numériques aux phénomènes mesurés. Examinons cela en détail.

1.2.2. Représentation et unicité : la caractérisation mathématique de l'objectivité représentationnelle.

Le but des analyses représentationnelles de la mesure est d'associer les différents types d'échelles avec des domaines d'objets représentés qui ont des structures relationnelles similaires. On distingue traditionnellement trois types d'échelles. Pour une *échelle de mesure additive (additive scale)*, on choisit comme outil de représentation la structure des réels (souvent positifs) munie de l'addition. Elle représente objectivement un domaine d'objets caractérisés par une « structure extensive », c'est-à-dire par une relation binaire d'ordre < et une relation à trois places de sommation °, qui relie trois objets seulement si la somme des deux premiers est égale au troisième. On utilise ce type d'échelle pour décrire des grandeurs physiques fondamentales comme la Masse, l'Énergie, la Distance spatio-temporelle, etc. Mais il existe deux autres échelles structurellement moins riches. Une *échelle d'intervalle ou de différence* (*intervalle scale*) est généralement mise en place en choisissant une structure de nombres réels où l'addition n'est pas définie. Une échelle d'intervalle représente un domaine d'objets où la relation de sommation ° est remplacée par une relation ^ entre quatre objets et qui qualifie le rapport entre la différence entre les deux premiers et la différence entre les deux derniers. Ce type d'échelle est caractéristique des grandeurs non additives comme la Température ou la Densité. Enfin, une *échelle ordinale* fait usage des seuls nombres naturels pour représenter une structure d'objets seulement ordonnés par une relation d'ordre.

La question est alors de savoir comment formaliser la notion de « force représentative », pour choisir une structure numérique capable de représenter seulement les traits structurels caractéristiques du domaine d'objets représentés. Pour cela, il faut définir une notion technique d'échelle de mesure.

1.2.2.1.La définition technique d'une échelle de mesure.

Une échelle de mesure se définit techniquement comme une application (*mapping*) qui associe les objets du domaine M représenté aux éléments de la représentation mathématique R_M (c'est-à-dire des nombres) de telle façon que les relations entre les objets de M, c'est-à-dire leur structure S_M, soient préservées et représentées par des mathématiques entre les nombres dans R_M. De telles correspondances sont des fonctions appelées « morphismes », qui sont étudiés et classés selon les propriétés structurelles qu'ils permettent ou non de conserver. En particulier, on dit que R_M et la structure relationnelle S_M ont exactement la même structure si et seulement si l'échelle est un *isomorphisme*, c'est-à-dire une

correspondance bi-univoque f de S_M à R_M (la représentation et le domaine d'objets ont la même cardinalité) qui préserve la structure de S_M. Précisément, f préserve la structure de S_M si et seulement si, pour toute relation r_S de S_M, il existe une relation numérique r_R dans R_M telle que pour tout n-uplet $a_1, \ldots, a_n$ de S_M, $r_S(a_1,\ldots,a_n)$ si et seulement si $r_R(f(a_1),\ldots,f(a_n))$.

On voit pourquoi l'application de la structure numérique R_M aux objets de S_M est objective lorsque ce biconditionnel est vrai. En effet, si c'est le cas, alors tout fait relationnel concernant un objet de S_M, impliquant par exemple la relation r_S, est représenté par un fait relationnel impliquant le représentant de cet objet dans R_M et la relation r_R qui correspond à r_S. Inversement, nous pouvons lire des faits relationnels concernant les nombres dans notre représentation comme renvoyant à des faits objectifs dans le domaine représenté. Si ces faits relationnels sont obtenus dans la représentation après un calcul (usage inférentiel de la représentation), alors on comprend toute l'utilité de l'approche représentationnelle : elle fonde un scientifique à interpréter la conclusion de cette inférence comme représentant un fait relationnel du domaine d'objets représentés. Cela sera crucial dans la discussion de l'axiome de clôture de la sommation.

1.2.2.2.La caractérisation mathématique de la représentativité d'une échelle de mesure.

Il faut alors expliquer ce qui permet, lorsqu'une échelle de mesure est établie, d'affirmer l'existence de cette correspondance isomorphique entre la représentation mathématique et ce qu'elle représente. D'après l'approche représentationnelle, le fondement de l'application d'une structure numérique à des objets est décrit par les axiomes d'une théorie physique rudimentaire concernant le domaine de ces objets. On peut reprendre les axiomes classiques de Hölder caractérisant une structure extensive des objets du domaine M d'objets[74] :

I. *Pour tout objet a et b du domaine M, un et un seul de ces énoncés est vrai :*
   a. *a est identique à b ($a = b$, $b = a$)*
   b. *a est plus grand que b et b est plus petit que a ($a > b$, $b < a$)*
   c. *b est plus grand que a et a est plus petit que b ($b > a$, $a < b$)*

II. *Pour tout objet a de M, il existe un b dans M tel que $b < a$*

III. *Pour toute paire ordonnée d'objets de M, a et b, leur somme $a°b$ appartient à M.*

IV. *Pour tout objet a et b de M, $a°b > a$ et $a°b > b$*

[74] (Hölder, 1996) et (Krantz, et al., 1971). Dans ses axiomes, Hölder ne parle pas toujours d'objets mais aussi de « magnitudes », ce qui est évidemment l'expression d'un choix d'ontologie : Hölder était par ailleurs partisan d'une identification des objets de la mesure à des magnitudes de grandeurs, que peuvent posséder par des particuliers empiriques. Krantz et al. sont en revanche des empiristes, et ne parlent pas de magnitudes lorsqu'ils détaillent les mêmes axiomes. Dans la présentation des axiomes de la mesure extensive, nous nous en tenons a un terme ontologiquement neutre « d'objets ».

V. *Pour tout objet a et b de M, si a > b, alors il existe x et y dans M tels que a°x = b et y°a = b*

VI. *Pour tout objet a, b et c de M, (a°b)°c = a°(b°c)*

Ces axiomes dits « qualitatifs » (simplement au sens où ils ne sont pas numériques) forment une théorie physique concernant les objets de M, et gouvernent les relations < et ° entre eux. Cette théorie décrit la structure S_M qu'ils doivent avoir afin d'être isomorphiquement représentés par une structure numérique de réels munie de l'addition, c'est-à-dire une échelle additive. L'approche représentationnelle permet alors de fonder l'effectivité représentative d'une échelle donnée sur la vérité de cette théorie qualitative du domaine M. Comme l'explique Swoyer :

> Dans ce cadre, la tâche essentielle est de mettre au point des axiomes qualitatifs (c'est-à-dire non-numériques) qui assureront qu'un certain type d'échelle de mesure est légitime. Ces axiomes doivent être suffisants (et si possible) nécessaires pour deux choses. Premièrement, ils doivent nous permettre de prouver un *théorème de représentation*, qui garantit l'existence d'un encastrement isomorphique (*isomorphic embedding*) de chaque modèle de ces axiomes dans une structure numérique appropriée R. Deuxièmement, ces axiomes doivent nous permettre de prouver un *théorème d'unicité*, qui nous dit « combien est unique » la représentation R ». (Swoyer, 1987, p. 250)

Une fois qu'on a formulé des axiomes gouvernant les relations adéquates sur M, un théorème de représentation apporte la preuve qu'il existe une fonction *f* qui relie isomorphiquement le domaine M à l'ensemble des réels positifs tout en conservant les relations. Ce théorème établit la représentativité de la structure numérique. Mais il existe plusieurs fonctions qui peuvent établir un tel isomorphisme. C'est alors un théorème d'unicité qui fournit la preuve que toutes les fonctions *f* qui le font sont reliées d'une certaine façon (par un ensemble de transformations bien définies). Par exemple, pour une grandeur additive, comme la Masse, toutes les fonctions sont identiques *modulo* un facteur multiplicatif. Le théorème d'unicité exprime alors qu'il n'y a pas de façon privilégiée de mettre en correspondance le domaine M et les nombres qui les représentent (c'est-à-dire, comme nous le verrons dans la prochaine section, de choisir à quel objet assigner le nombre « 1 »), mais que toutes les correspondances sont des transformations linéaires ($f' = a.f$ avec $a > 0$) les unes des autres. Le théorème d'unicité exprime donc une contrainte sur les transformations admissibles, d'une représentation à l'autre, pour sauvegarder l'isomorphisme. On peut comprendre alors pourquoi les fonctions *f* sont appelées « échelles » : ces transformations admissibles entre les différentes représentations numériques correspondent aux passages d'une échelle à une autre de la même grandeur, par des changements d'unité. Par exemple, une échelle où la grandeur Masse est mesurée en « kilogrammes » et une échelle où elle est mesurée en « livres » sont reliées par un facteur multiplicatif $a = 0{,}435$.

Pour les grandeurs non additives comme la Température, nous ne pouvons construire que des échelles d'intervalle où l'addition n'est pas définie ou bien n'a pas de sens physique. De même, les grandeurs seulement ordinales ne représentent que l'ordre entre les objets de leur domaine. Les domaines d'objets que ces échelles représentent devront alors être décrits par des axiomes moins contraignants. Mais surtout, on montre que ces différences de force représentative entre échelles extensives, d'intervalles et ordinales, sont équivalentes à des différences entre les ensembles des transformations admissibles entre les fonctions f. Les travaux de Stevens (1946) ont permis de montrer que, là où les échelles représentant des domaines de grandeurs extensives sont toutes fonctions linéaires $f' = a.f$ ($a > 0$) les unes des autres, les échelles d'intervalle sont caractérisées par un groupe plus large de transformations admissibles, affines : $f' = a.f + b$ ($a > 0$). Par exemple, c'est par une telle transformation affine qu'on passe de l'échelle de mesure de la Température en degrés Celsius à l'échelle de Fahrenheit (avec $a = 1{,}8$ et $b = 32$)[75].

De la même façon, on peut caractériser les échelles ordinales par le groupe des transformations admissibles, qui est encore beaucoup plus large. Tout changement d'échelle qui préserve l'ordre des éléments de la représentation est admissible. Par exemple, on peut représenter un ordre de 26 objets par une séquence de nombres naturels, mais aussi bien par la suite des 26 lettres de l'alphabet. On transforme une échelle en l'autre en associant chaque nombre de la première représentation à une lettre dans la seconde.

Ainsi, l'approche représentationnelle de la mesure permet de répondre à la principale question que nous posions au début de cette section : comment analyser le concept de « force représentative », pour motiver le choix d'un système numérique pour représenter un domaine d'objets à mesurer ? La théorie mathématique de la représentation permet de répondre que le choix doit être justifié en fonction des hypothèses que l'on fait concernant la structure de ce domaine. Donnons donc la formule générale de la solution représentationnelle.

Soit S_M la structure des objets représentés, et r_S les relations postulées qui composent cette structure. Dans le cas d'une structure extensive pour représenter la Masse, nous avons deux relations : $<_m$ et $\circ_m$, qui sont définies sur les objets de S_M par les axiomes de Hölder. Soit maintenant R_M une structure numérique, où les relations r_R sont définies sur un ensemble de nombres. Dans la construction d'une grandeur extensive, ce sont généralement la relation d'ordre $<$ et l'addition $+$. L'approche représentative nous dit que nous devons choisir l'ensemble de nombres et surtout les relations r_R afin que le théorème de représentation puisse être démontré, et qu'il existe une fonction f qui associe

[75] On vérifie facilement pourquoi les transformations affines conservent les informations importantes dans une échelle d'intervalle, c'est-à-dire les informations concernant les rapports entre intervalles. Soient x_1, x_2, x_3 et x_4 quatre valeurs distinctes d'une telle échelle. On s'intéresse au rapport des différences $x_2 - x_1$ et $x_4 - x_3$, c'est-à-dire à $(x_2 - x_1)/(x_4 - x_3)$. Il se trouve que le rapport des différences $(ax_2 + b) - (ax_1 + b)$ et $(ax_4 + b) - (ax_3 + b)$, avec $a > 0$, est égal à $(x_2 - x_1)/(x_4 - x_3)$: les b s'annulent par différence et les a par division. Toute transformation affine de l'échelle conserve ce rapport, pour tout quadruplet de valeurs distinctes de cette échelle.

isomorphiquement les objets de S_M et les nombres de la représentation R_M. En particulier, R_M doit être dotée d'une structure suffisante pour capturer les faits objectifs de S_M, c'est-à-dire les faits relationnels impliquant $<_m$ et $\circ_m$. Pour cela, elle doit contenir des relations r_R telles que, si des nombres représentent des objets de M qui sont dans les relations $<_m$ et $\circ_m$, alors ces nombres doivent être dans des relations r_R. On dira alors, par commodité, que les relations r_R « reflètent » les relations $<_m$ et $\circ_m$ pour signifier cette correspondance ; on considère alors que la relation d'ordre numérique < reflète la relation $<_m$ entre objets représentés, et que la relation d'addition + reflète la relation de sommation ou concaténation $\circ_m$ entre eux.

1.2.2.3.Les réponses représentationnelles.

Ce résultat permet de répondre aux trois questions concernant la représentativité effective d'une structure numérique. Premièrement, elle permet d'expliquer pourquoi des structures différentes peuvent avoir une force représentative égale, comme c'est le cas par exemple d'une série de 26 nombres naturels et des 26 lettres de l'alphabet, ou encore, de la structure des réels munie de l'addition et de cette structure munie de la multiplication. La théorie représentationnelle nous explique qu'il existe pour chacune de ces structures un isomorphisme qui plonge en elle une même structure relationnelle d'objets représentés.

Deuxièmement, elle nous fournit un critère pour choisir entre plusieurs représentations structurellement plus ou moins riches. Le choix est réglé par les hypothèses que nous faisons sur la richesse de la structure S_M d'objets à représenter. Pour pouvoir affirmer l'existence d'une fonction qui associe isomorphiquement cette structure à sa représentation numérique, il faut que cette dernière ait la même cardinalité que la première, et des relations qui reflètent toutes celle de la première.

Troisièmement, si la structure représentative contient plus d'éléments que la structure représentée ou plus de relations, l'approche représentationnelle nous permet de n'y voir que des outils de représentation qui n'ont pas d'interprétation physique. Ils peuvent être des ajouts structurels permettant de mener à bien des calculs au sein du modèle mathématique, mais ne reçoivent pas en eux-mêmes de signification physique. Ils ne désignent pas d'objets physiques ou de relations entre objets physiques, car ils ne représentent rient dans S_M. Dans ce cas d'une représentation à la cardinalité plus grande que la structure représentée, on ne peut pas formellement parler d'isomorphisme (puisque la fonction n'est pas surjective). On dit alors qu'il existe un encastrement isomorphique (*isomorphic embedment*) de S_M dans la structure numérique, voulant dire par là que S_M est isomorphiquement appliquée en une sous-structure de R_M. Mais alors le théorème de représentation se réduit à cette sous-structure, partie effectivement représentative de la représentation.

Nous avons présenté les résultats principaux de l'approche représentationnelle de la mesure, et il s'agit maintenant d'évaluer précisément ces apports comme solutions au problème qui est le nôtre, de l'applicabilité objective des mathématiques à la mesure.

2. *Les limites de l'approche représentationnelle et le retour à Norman Campbell.*

L'approche représentationnelle peut faire l'objet de multiples usages épistémologiques et ontologiques. Dans la lignée de (Suppes, 1969), (Van Fraassen, 1980) et (Bueno, 1997), elle est utilisée pour comprendre comment les modèles théoriques et mathématiques se rapportent aux modèles de données, et le formalisme des théorèmes de représentation et d'unicité est utilisé pour éclairer l'épistémologie de la représentation scientifique. Cela peut être fait dans un cadre métaphysique strictement empiriste comme avec (Van Fraassen, 2008), ou bien s'inscrire dans la veine du réalisme scientifique (French, 2014). Dans un sillon nettement plus ontologique, l'approche représentationnelle peut aussi être utilisée pour proposer des reformulations qualitatives (non-numériques) des théories physiques : un modèle qualitatif du domaine d'objets concerné sera pris pour le véritable contenu de cette théorie, et le modèle numérique seulement pour sa représentation mathématique. Il est alors possible de voir si, pour construire ces modèles qualitatifs, nous devons quantifier sur des propriétés ou universaux, ou bien si ces reformulations peuvent se faire dans une ontologie strictement nominaliste. Field par exemple utilise l'approche représentationnelle pour reformuler une théorie physique (la théorie newtonienne du mouvement) sans utiliser de structures numériques, et donc sans avoir à s'engager ontologiquement envers des nombres ou autres objets mathématiques (Field, 1980).

Selon ces usages de l'approche représentationnelle, on peut s'approcher du problème de l'application des mathématiques et de ses conditions ontologiques, mais d'une manière indirecte : on se demande si des reformulations qualitatives des théories physiques sont possibles, ou bien si le langage numérique des mathématiques est au contraire indispensable. A partir des réponses à ses questions, on en infère un certain nombre d'engagements ontologiques envers des particuliers seulement (nominalisme), des propriétés ou universaux physiques (platonisme) voire des nombres (platonisme mathématique). Ce n'est pas de cette façon que nous cherchons à utiliser l'approche représentationnelle ici. Nous suivons plutôt Swoyer, qui y voit plutôt un moyen d'apporter au problème de l'applicabilité objective des mathématiques une solution structuraliste :

> J'espère utiliser la méthode représentationnelle pour fournir une caractérisation directe de certains aspects structuraux de la réalité, sous-jacents au succès de la mesure, et qui par conséquent expliquent ce succès. Cela permettrait aussi d'expliquer l'applicabilité des mathématiques à la réalité, dont la clef est que certains aspects du monde ont la même structure que certains systèmes mathématiques. (Swoyer, 1987, p. 251) [Voir aussi (Swoyer, 1991, p. 451)]

La thèse centrale de la solution structuraliste affirme tout simplement qu'une représentation mathématique est applicable à un domaine d'objets parce que les deux partagent une même structure

(relationnelle) (Shapiro, 1983). Mais que signifie, en l'occurrence, « partager une même structure », et par quel moyen le métaphysicien peut-il établir que c'est le cas ? Swoyer voit précisément dans les théorèmes de représentation et d'unicité la réponse formelle à ces questions : une représentation mathématique est applicable à un domaine d'objets physiques parce qu'elle le représente effectivement, c'est-à-dire partage avec lui la même structure qui est conservée par la fonction qui applique l'un sur l'autre. Swoyer écrit :

> La signification philosophique du théorème de représentation tient en grande partie au fait qu'il explique l'applicabilité des mathématiques à la réalité ; plus précisément, il explique – et justifie – l'applicabilité de la théorie mathématique des nombres réels positifs munis de l'addition aux longueurs. Et la signification philosophique du théorème d'unicité tient en grande partie au fait qu'il explique pourquoi des échelles de mesure de la longueur, dont l'une est la multiplication de l'autre par une constante positive, conviennent également (et donc aussi pourquoi des lois qui les impliquent sont invariantes sous de telles transformations). Qui plus est […], il nous aide à séparer les aspects conventionnels d'une représentation de ses aspects non-conventionnels. (Swoyer, 1991, p. 463)

Il est incontestable que l'approche représentationnelle éclaire l'applicabilité objective de structures numériques à des objets mesurés par la notion mathématique de représentation, et que la notion d'isomorphisme permet d'étudier rigoureusement ce que c'est, pour deux systèmes, de partager la même structure. Mais nous allons contester maintenant qu'il puisse s'agir là d'une solution *générale* au problème *métaphysique* de l'applicabilité, et proposer ensuite de relire Campbell de plus près, pour y trouver un complément indispensable de réponse.

2.1.Le manque d'une solution générale au problème de l'applicabilité objective des mathématiques.

Le problème métaphysique de l'applicabilité, dont nous parlons depuis le départ, interroge la relation d'application objective entre les mathématiques dans nos représentations scientifiques (ici, les échelles de mesure) et les phénomènes ou objets physiques (ici, le domaine d'objets à mesurer). La solution structuraliste à ce problème général voit dans le partage d'une même structure un fondement pour l'application des premières aux seconds. L'approche représentationnelle analyse cette solution par le concept d'isomorphisme. Or, une relation d'isomorphisme ne peut tenir qu'entre deux systèmes formels ou deux modèles, et non entre un modèle mathématique et la réalité en tant que telle. Donc ce qui est représenté par la structure mathématique, le domaine d'objets, est déjà lui-même un modèle (qualitatif) d'une situation empirique réelle, et non cette situation elle-même. Swoyer le sait très bien :

> Qui plus est, il faut se prémunir d'une confusion : un IRS [c'est-à-dire le système relationnel des objets représentés] peut être vu comme une sorte de modèle ou de représentation d'une situation empirique réelle, que nous étudions par lui. […] A parler rigoureusement, la relation de représentation structurelle ne tient qu'entre un modèle IRS d'une situation empirique réelle et un modèle IRS d'une représentation de cette situation. (Swoyer, 1991, p. 457)

Dès lors, l'approche représentationnelle ne peut pas en tant que telle nous dire le fondement de l'applicabilité des mathématiques aux phénomènes ou objets physiques eux-mêmes, et cela pour deux raisons : premièrement, elle ne traite que du rapport de représentation entre un modèle mathématique et un modèle qualitatif de ces objets (et à ce titre, elle nous renseigne beaucoup sur l'épistémologie de l'application) ; et deuxièmement, elle ne fait par conséquent que reconduire le problème de l'applicabilité objective des mathématiques, en le transformant. Pour expliquer pourquoi un système numérique est applicable à la mesure d'un domaine d'objets physiques, nous devons alors trouver le fondement de la possibilité de décrire la structure de ce domaine par un modèle qualitatif – ce que Swoyer appelle « un modèle IRS d'une situation empirique réelle ». L'approche représentationnelle nous a montré que dans le problème de l'applicabilité objective des mathématiques en mesure, le problème métaphysique n'était pas l'application des nombres – et c'est un gain très important – parce qu'une structure numérique ne fait que représenter une structure qualitative (au sens de non-numérique), mais qu'il était par conséquent dans la description de cette structure qualitative des objets. Autrement dit, d'où vient qu'il est possible de faire une description structurale (par des relations d'ordre et de sommation) d'un domaine d'objets physiques ? Les réponses de Swoyer à cette question ne peuvent pas nous satisfaire. Il ajoute ensuite :

> Pour plus de distinction, je dirai qu'un système relationnel intensionnel [IRS] est un modèle-IRS d'une situation empirique réelle quand il satisfait deux conditions. Premièrement, le système relationnel doit contenir un certain nombre des individus et relations de cette situation, et deuxièmement, un n-uplet d'objets est dans l'extension d'une relation dans le système relationnel si ces objets, pris dans cet ordre, sont dans cette relation dans la situation réelle. (Swoyer, 1991, p. 457)

Autrement dit, le modèle qualitatif doit offrit une description vraie de la situation empirique. Les objets que nous mesurons doivent effectivement posséder la structure relationnelle que nous leur prêtons dans le modèle qualitatif. Mais que signifie pour ces objets de « posséder effectivement une structure relationnelle » ? Ne doit-on pas faire un certain nombre d'idéalisations pour appliquer objectivement nos concepts relationnels (ordre et sommation), fussent-ils qualitatifs ? Comme l'écrit Swoyer en note (9) :

> En traitant un système empirique réel comme un IRS, les axiomes de ce système peuvent être conçus comme des définitions des relations qu'il contient, mais il est souvent préférable de les regarder comme des affirmations empiriques à propos de ces relations. Dans certains cas, un modèle IRS d'une situation ou d'un phénomène non seulement ignore certaines de ses relations, mais injecte aussi une forte dose d'idéalisation. Nous traitons couramment des choses concrètes comme des masses ponctuelles, nous considérons des objets qui ont des longueurs parfaitement définies alors que nous savons très bien que ce n'est pas réellement le cas. Cela nous permet souvent de fournir des représentations structurelles raisonnablement manipulables pour ces systèmes actuels, dans des systèmes mathématiques que nous maîtrisons bien. Dans de tels cas, on peut prendre la représentation mathématique comme une description fiable de quelque chose d'actuel, bien que ce soit en réalité la version scientifiquement idéalisée d'une situation empirique réelle, et non cette situation elle-même, que la représentation décrit. (Swoyer, 1991, p. 501)

Autrement dit, si l'on veut qu'un modèle qualitatif décrive une situation empirique, alors il faut proposer une interprétation empirique et concrète des relations d'ordre et de sommation en termes opératoires, et faire des généralisations sur ces opérations. Ces énoncés hypothétiques forment une théorie physique du domaine d'objets considéré, qui affirme qu'une interprétation opératoire des axiomes de Hölder est généralisable à tous les objets de ce domaine.

Ainsi la solution représentationnelle n'est pas une solution *générale* au problème métaphysique de l'applicabilité objective des mathématiques en mesure. Elle est une *formule générale* pour des solutions toujours particulières, apportées par les scientifiques eux-mêmes, quand ils font des hypothèses empiriques concernant un domaine d'objets. La solution représentationnelle indique en général qu'une structure numérique est objectivement applicable toutes les fois qu'on peut décrire la structure des objets mesurés dans un certain modèle qualitatif. Mais la possibilité de décrire ces objets comme formant une telle structure, et donc comme étant mesurables, n'est fondée qu'au cas par cas, par des théories physiques rudimentaires qui proposent des généralisations empiriques des relations opératoirement établies à tous les objets d'un domaine considéré.

Une solution métaphysique au problème de l'applicabilité exige bien plutôt un fondement pour la possibilité de faire de telles généralisations à propos des objets mesurés, car c'est à cela que revient, en définitive, la *mesurabilité* de ces objets, c'est-à-dire leur représentabilité par des structures de nombres. A ce niveau-là, l'approche représentationnelle n'a pas avancé d'un pouce par rapport à la théorie d'Ellis et Forge : là encore il reste à expliquer pourquoi il est ontologiquement fondé de prendre un système d'objets physiques, opératoirement construit, pour une partie d'une structure valant pour tous les objets du domaine. Comme l'avoue Swoyer, cela suppose des idéalisations dont il ne fournit pas la justification. Nous avons essayé, quant à nous, de les fonder ontologiquement dans la section 4. du précédent chapitre. En ce sens, l'approche représentationnelle n'apporte aucune réponse générale et propre au problème qui est le nôtre.

Néanmoins, nous pouvons compléter les acquis de l'approche représentationnelle par les analyses de Campbell qui, si elles ne bénéficient pas du formalisme mathématique des structures et des morphismes, permettent de mieux comprendre le problème de l'applicabilité objective des échelles numériques à des objets mesurés et surtout d'en formuler une authentique solution générale.

2.2.L'approche spécifique de Campbell

Comme nous l'avons expliqué (chapitre V, section 1.2.) la question de l'applicabilité objective des nombres à la mesure est équivalente à la question de la mesurabilité de certaines propriétés physiques : c'est parce qu'une propriété est mesurable que nous pouvons appliquer objectivement des nombres à la mesure des particuliers qui sont dans son domaine. Revenons à Campbell, qui demandait quelle était la différence entre la beauté ou la couleur, qui ne sont pas des propriétés mesurables, et la masse ou la densité, qui sont mesurables.

La beauté, dit Campbell, n'est pas mesurable tout simplement parce qu'il ne semble n'y avoir aucun moyen rigoureux de dire si quelque chose est beau ou non. Une classification des objets qui les partage entre ceux qui sont beaux (auxquels on assigne le nombre « 1 ») et ceux qui ne le sont pas (« 0 ») est totalement artificielle ou subjective. Quelle est alors le fondement du fait qu'en attribuant des nombres aux objets massifs, l'échelle de mesure de leurs masses est au contraire porteuse d'informations physiques ? Nous allons donner rapidement les principales réponses de Campbell à cette question, qui n'offrent pas d'intérêt formel supérieur à celles d'approches représentationnelles plus récentes. Mais leur mérite est ailleurs. Campbell apporte deux éléments essentiels à la compréhension de la représentativité objective des échelles de mesure : premièrement, il avance une notion originale de « différence », qui permet de penser comme intrinsèquement quantitatifs les traits des objets mesurés, effectivement représentés par la structure numérique ; deuxièmement, il apporte une réponse beaucoup plus profonde à la question de l'applicabilité objective d'une échelle de mesure aux objets mesurés ; pour lui, la représentativité d'une structure numérique ne tient pas seulement au partage d'une même structure avec un système relationnel qualitatif, mais suppose une contrainte opératoire : la structure mathématique ne peut représenter qu'un système relationnel *opératoirement constructible*.

2.2.1. Les principales conclusions de Campbell.

Campbell pose une première condition de la mesurabilité d'une propriété m : elle est mesurable seulement si les objets du domaine de m sont classables opératoirement. C'est la raison pour laquelle les couleurs ne sont pas mesurables : elles ne possèdent pas un « ordre réel » (*real order*) :

> Un ordre peut émerger, non pas d'une convention arbitraire, mais des propriétés réelles des choses ordonnées ; et c'est, bien entendu, l'existence de cet ordre réel qui a conduit à l'invention d'ordres arbitraires, pour dénoter les choses qu'il caractérise. (Campbell, 1920, p. 270)

Mais quand pouvons-nous dire que les objets mesurés possèdent un tel « ordre réel » (ou « naturel », dit-il aussi plus bas) ? L'originalité de Campbell, qui tient peut-être à l'époque opérationaliste où il écrit, tient à ne pas séparer la notion « d'ordre réel » (et comme nous l'allons voir tout de suite, de « structure réelle ») de celle d'ordre *constructible*. Il explique en effet qu'un ordre est réel quand une relation d'ordre (c'est-à-dire transitive et asymétrique), est expérimentalement attestable par des opérations concrètes :

> Il n'y a aucun ordre naturel parmi les couleurs qui nous permettrait de les dénoter par des séries de numéros, sauf par une convention des plus arbitraires. […] En allouant des numéros aux couleurs, comme le fait un teinturier, le numéro particulier qui est alloué à une couleur particulière n'est pas déterminé par une expérience ; et le fait de la représenter par un numéro plutôt qu'un autre ne contient aucune information expérimentale. (Campbell, 1920, p. 272)

Au contraire, l'ordre qui est représenté par les dix nombres de l'échelle de Mohs est « réel » ou « naturel » parce qu'une relation d'ordre « plus dur que » peut être attestée, expérimentalement, par l'opération de rayage : un matériau A peut être associé à un nombre supérieur au nombre d'un autre matériau B, et donc être dit plus dur que lui, si A raye B. Campbell conclut donc que pour être mesurable, une propriété m doit être telle qu'on peut trouver une opération concrète pour classer les objets qui sont dans son domaine (et que l'on peut mesurer), c'est-à-dire construire une système physique représenté par un SRM où s'atteste une relation transitive asymétrique.

2.2.1.1.Le rôle des différences quantitatives.

Mais cette première condition n'est pas suffisante pour Campbell. En effet, d'autres échelles métriques, comme celle de la masse, du volume, de la distance, etc., remplissent cette condition. Par exemple, la relation « être plus massif que » est elle aussi expérimentalement attestable par une opération concrète. Mais ces propriétés physiques :

> …ne sont pas simplement mesurables comme la dureté (selon l'échelle de Mohs), mais mesurables dans un sens plus haut et plus important ; il y a de l'arbitraire dans l'assignation des numéros sur l'échelle de Mohs, qui est absent dans l'assignation de numéros pour représenter le poids ou la densité. […] En fait, l'expérience, qui permet de déterminer l'ordre des numéros [sur l'échelle de Mohs], y laisse les différences entre les numéros relativement indéterminées ; le choix de la différence est aussi arbitraire que le choix du numéro fait par le teinturier pour représenter ses couleurs, et un ingénieur aurait parfaitement raison d'en conclure que les différences entre les numéros assignés n'ont aucune signification physique ; elles ne représentent aucune différence physique. A l'inverse, lorsqu'on représente un poids par 8 et un autre par 3, on sent bien que la différence entre les propriétés des deux poids est d'une certaine façon représentée par la différence entre les nombres 8 et 3 qui sont représentés par les mêmes numéros. […] Au lieu de représenter la dureté par des numéros de 1 à 10, nous aurions pu sans perte les représenter par les lettres de A à J, ou bien par les rangs de noblesse (ducs, marquis, compte, etc.) […]. Mais lorsque l'idée d'une différence est introduite, la distinction entre les deux méthodes de notation apparaît immédiatement ; il y a une signification dans la différence entre 1 et 10 qui est absente de la différence entre A et J. (Campbell, 1920, p. 274)

Pour Campbell, nous n'avons pas compris le fondement de l'applicabilité objective des nombres en mesure en s'en tenant à la première condition (l'existence d'un ordre entre objets mesurés), puisque ce genre de mesure peut se faire avec des lettres de l'alphabet, qui présentent un ordre non-numérique. Par conséquent, nous n'avons pas compris quelle était la caractéristique essentielle des échelles numériques par rapport à des systèmes non-numériques de représentation[76], et donc non plus quel est le fondement de l'applicabilité des nombres en mesure. Il est en effet essentiel, aux yeux de Campbell, qu'au sein d'une structure numérique, les nombres entretiennent des relations entre eux, porteuses d'informations quantitatives que Campbell désigne par le terme de « différence ». Manifestement pour Campbell une relation d'ordre, qui assigne des places pourtant « différentes » à des objets dans une structure, ne compte pas comme une « différence ». Il s'agit d'un concept tout à fait original de « différence » qui semble exclure la différence qualitative dans un ordre, et par lequel Campbell désigne bel et bien des différences *quantitatives*, c'est-à-dire des informations concernant les intervalles entre les nombres.

Pour le dire plus rigoureusement, dans une échelle numérique les nombres (même s'ils ne sont utilisés que pour ordonner des objets) portent des relations, qui engendrent des relations entre leurs intervalles. Par exemple, sur un ensemble de nombres peut être définie une relation ternaire d'addition,

---

[76] Bien entendu, cet argument ne suffirait pas pour conclure à une autre thèse de Campbell, qui affirme que les échelles seulement ordinales ne sont pas de véritables échelles de mesure, et que classer objectivement n'est pas suffisant pour proprement mesurer. Il faudrait pour cela avoir une bonne raison de penser que les nombres sont indispensables en mesure, et que toute mesure qui peut s'en dispenser n'est pas véritablement une mesure. Mais cette autre thèse de Campbell ne nous intéresse pas ici, où nous n'examinons de toute façon que les échelles numériques, pour interroger les conditions d'applicabilité objective des nombres.

qui pourra nous dire pour tout triplet de ces nombres, si le troisième est égal à l'addition des deux premiers. Or cette relation d'addition engendre des relations très intéressantes entre les intervalles des nombres : en particulier, des intervalles peuvent être identiques ou différents. Par exemple, les intervalles entre a et b et b et c sont identiques (égaux à d) si a + d = b et b + d = c. A notre connaissance, Campbell ne définit nulle part très rigoureusement ce qu'il entend par « différence », mais le terme nous semble désigner précisément ces relations entre nombres qui, comme l'addition, engendrent des faits relationnels concernant leurs intervalles. Nous les appellerons les différences *quantitatives*, parce qu'elles nous semblent capturer, dans la représentation numérique, précisément les faits relationnels qui sont caractéristiques d'un domaine quantitatif d'objets.

Avec ce concept de différence quantitative, Campbell fournit un critère intéressant pour caractériser l'information que portent en propre les structures numériques : cette information est donnée par les différences quantitatives entre les nombres. C'est donc en particulier à propos de ces différences qu'il faut se demander si, et à quelles conditions, elles ont une signification physique, pour comprendre le fondement de l'applicabilité objective des structures numériques. Les échelles d'intervalle, comme celle de la Température, et les échelles de ratio (additives) comme celle de la Masse et des principales grandeurs physiques, possèdent ces différences quantitatives. Sur une échelle d'intervalle, par exemple, les rapports entre les intervalles entre les éléments de l'échelle sont les informations intéressantes. Le rapport entre deux écarts de température est toujours le même, malgré toutes les transformations admissibles (affines) de l'échelle. Sur une échelle de ratios, ce sont les ratios entre les nombres qui sont conservés lorsqu'on multiplie l'ensemble de l'échelle par un facteur unique.

La thèse de Campbell est donc double, méthodologique et métaphysique. Du point de vue méthodologique, il caractérise la représentativité d'une structure numérique en ayant recours à ce concept de différence quantitative. C'est par la richesse de leurs différences quantitatives que des nombres ont une force représentative, et c'est selon ce critère qu'on peut sélectionner une structure numérique plutôt qu'une autre. D'un point de vue métaphysique maintenant, Campbell apporte une réponse à nos yeux complète au problème de l'applicabilité objective des structures numériques en mesure : ces différences doivent correspondre à des relations *constructibles* entre objets représentés.

2.2.1.2.La constructibilité opératoire des échelles de mesure.

La notion de différence quantitative n'apporte en effet formellement rien par rapport à celle de relation, mais elle est plus pertinente pour comprendre la représentativité d'une échelle numérique. Par exemple, pour représenter les différentes masses que peuvent avoir les objets physiques, on utilise la structure des réels positifs munis de l'addition, et on exclut donc les réels négatifs. Cela signifie que l'opération de soustraction n'est pas, contrairement à l'addition, généralisable à toutes les paires de nombres de cet ensemble : pour tout a et b de *R*, la relation « – » n'est définie que si a – b > 0. Autrement

dit, ne vaut pas pour cette relation quelque chose comme l'axiome III de clôture pour l'addition. Une structure qui n'est pas munie de la soustraction est donc moins riche que la structure entière des réels (où les réels positifs ont leurs opposés négatifs). Mais pourquoi choisir la première pour représenter les objets massifs ? En fonction de quel critère exclut-on que la relation de soustraction ait une signification physique objective ? On le comprend mieux en comprenant les relations entre nombres établies par la soustraction en termes de différences quantitatives. La différence quantitative établie par la soustraction est l'opposition, par laquelle un nombre et son opposé s'annulent par addition. Or nous avons de bonnes raisons physiques de penser que cette différence quantitative, l'opposition, n'a pas de signification physique pour la Masse, comme elle l'a par exemple pour la Charge. La différence entre une charge positive et une charge négative n'est pas qu'un artefact de représentation, mais a une signification physique. Mais cette différence oppositive ne semble pas être pertinente pour la masse, et bien que l'hypothèse de la masse négative soit explorée par la physique théorique, elle reste encore à l'état de spéculation (Jammer, 2000, p. 122). Le jour où des faits expérimentaux permettront, au contraire, de donner un sens physique à l'opposition de masse, alors il faudra enrichir l'échelle de mesure qui représente les objets massifs par des réels négatifs. Cela veut donc dire que les différences quantitatives nous fournissent un bon critère pour examiner ce qui, dans une structure numérique, peut être doté d'une signification physique et d'une force représentative. En ce sens, choisir la bonne représentation numérique, c'est sélectionner les bonnes différences en fonction des connaissances expérimentales et théoriques disponibles.

Du point de vue métaphysique, Campbell explique alors l'applicabilité objective des échelles numériques de la même façon qu'avec les échelles ordinales. Pour que la structure numérique composée par les différences quantitatives dans une échelle soit représentative d'une structure réelle d'objets, il ne suffit pas pour lui de postuler un langage qualitatif et une description vraie dans ce langage d'une structure d'objets – à la différence de représentationalistes plus récents, comme Swoyer. Il faut bien plus que les différences quantitatives soient opératoirement interprétables. Une structure numérique décrit une « structure réelle » (comme Campbell parle « d'ordre réel » ou « naturel ») si on peut, pour la (ou les) différence(s) quantitative(s) caractéristique(s) d'une échelle, définir une opération concrète de mesure qui produit, entre les objets physiques empiriquement rencontrés, des relations qui interprètent la ou les différences(s) quantitative(s).

Par exemple, sur une échelle additive (de ratios) de la Masse, c'est la différence formalisée par l'addition sur les réels positifs qui est la différence quantitative caractéristique, et qui permet de dire qu'un nombre de kilogrammes est « deux fois plus grand » qu'un autre. Nous devons interpréter physiquement cette différence, en trouvant une opération concrète qui permet d'établir qu'un objet est « deux fois plus massif » qu'un autre. Une telle opération est l'opération de concaténation des masses définie par le fait de mettre deux objets sur un plateau, un troisième objet sur l'autre plateau d'une balance à l'équilibre. Elle permet d'établir une relation physique de sommation $\circ_m$ telle que si $\circ_m(a,b,c)$,

alors a + b = c. Si a et b sont des standards qui ont la même masse, alors c est deux fois plus massif que a (ou b).

Plus exactement, Campbell explique que pour appliquer objectivement une échelle additive, nous devons non seulement trouver une opération de concaténation ° mais aussi faire des postulats empiriques généraux valant pour tous les objets du domaine. Ces postulats affirment que les relations physiques de sommation établissables par cette opération respectent ce qu'il appelle les « lois de l'addition », qui ne sont rien d'autre que les axiomes III à VI de Hölder. Donc une échelle additive est applicable si on peut définir une opération concrète de concaténation ° telle que, généralisée à tous les objets du domaine, les relations qu'elle découvre respectent les axiomes de l'additivité :

> Quelle similarité entre ces propriétés [des nombres qui font qu'on peut leur appliquer l'addition], et les propriétés des corps et de leur poids, qui nous permettent de leur appliquer le procédé d'addition ? La similarité se trouve entre la relation dénotée par le signe de l'addition et la relation que l'on peut établir expérimentalement entre les corps en vertu du fait qu'ils ont un poids ; les propositions qui sont vraies d'une relation sont vraies de l'autre. (Campbell, 1920, p. 279)

Si on ne peut pas, d'une manière rigoureuse, définir une opération concrète qui produit une relation entre objets physiques qui interprète l'addition entre les nombres, alors l'échelle n'est pas applicable. Avec la notion de « similarité » dans la dernière citation, Campbell est moins rigoureux que les tenants plus récents de l'approche représentationnelle, où elle a été remplacée par le concept plus précis d'isomorphisme. Mais Campbell va jusqu'au bout du problème de l'applicabilité objective, en ajoutant une dimension opératoire à la notion de représentativité.

Il ne se contente pas de dire qu'une représentation partage la même structure qu'un système relationnel qualitatif, mais pose une contrainte opératoire. La structure mathématique ne peut représenter qu'un système relationnel *opératoirement constructible*. C'est-à-dire que, du point de vue de la méthodologique métrique, on doit chercher empiriquement des opérations susceptibles d'établir les relations (ordre et sommation) voulues ; mais surtout, du point de vue métaphysique, la condition d'applicabilité objective d'une structure numérique est grossie d'une dimension modale (« constructible ») dans l'articulation concrète des nombres et des phénomènes. C'est cette dimension modale qui permet à l'approche représentationnelle d'être complète, et qui fait son originalité par rapport à l'approche opérationnelle, comme solution au problème de l'applicabilité.

Nous reviendrons longuement dans la section 3., qui portera sur le choix conventionnel de l'unité de mesure. Mais avant d'y arriver, nous devons considérer la question secondaire mais liée de la frontière entre les propriétés mesurables et celles qui ne le sont pas, question posée dans la section 1.3.1. du chapitre V et sur laquelle nous ne sommes pas encore revenue.

2.2.2. Le critère de mesurabilité en débat.

Comme nous l'avons évoqué alors, Campbell a une position très tranchée sur la question de l'extension du mesurable, et il en exclut absolument les échelles ordinales. Un ordre entre objets n'est pas un véritable cas de mesure. Mais surtout, il ne considère pas non plus comme une authentique mesure l'établissement des échelles d'intervalles, car selon lui, nous ne pouvons pas trouver d'opération concrète pour attester empiriquement d'un rapport entre intervalles. Il parle alors, pour des grandeurs non-additives comme la Température ou la Densité, de grandeurs « dérivées », voulant dire ainsi qu'elles sont, en principe, réductibles à des grandeurs additives dites alors « fondamentales » (p. 276). Il peut s'agir d'une réduction définitionnelle, comme dans le cas de la Densité qui est définie comme le rapport de la masse et du volume, mais aussi d'une réduction nomologique, comme dans le cas de la Température qui n'est réductible à des grandeurs additives (comme l'Énergie cinétique moyenne) que par l'intermédiaire des lois de la mécanique statistique. Mais Campbell n'a pas, à notre avis, pour but de donner un sens ontologique aux termes « fondamentale » et « dérivée ». Il ne cherche pas à montrer que des états de densité ou de température *surviennent* sur des états de propriétés physiques additives, car il est avant tout préoccupé par le fondement de la mesurabilité d'une propriété. Et c'est à ce titre qu'il hésite sur le statut de propriétés mesurables des propriétés non-additives comme la Densité ou la Température, avant de les exclure du champ de la mesure. « Dérivées » signifie donc chez lui seulement qu'elles ne sont pas d'authentiques propriétés mesurables, car elles ne sont mesurables que par l'intermédiaire de propriétés physiques authentiquement mesurables. Cependant, pour en arriver à cette conclusion, son seul argument paraît être que :

> La signification des différences de densité n'est pas tout à fait celle des différences de poids. On reconnaîtra que la relation entre une paire de substances de densités 1 et 2 et une autre paire de densités 2 et 3 n'est pas aussi simple que la relation entre une paire de poids 1 et 2 et une paire de poids 2 et 3 ; on peut concevoir facilement une expérience très simple pour montrer que la différence entre les poids d'une paire est égale à la différence entre les poids de l'autre, alors qu'il n'y a pas d'expérience aussi simple pour montrer que la différence entre densités dans les deux paires est la même. […] La densité, par conséquent, doit être rangée avec la dureté, et la coupure dans la série des propriétés qu'on a énumérées[77] se situe entre la densité et le poids. Car le poids est sans conteste une propriété mesurable ; la détermination du poids d'un corps fixe de manière univoque les poids de tous les autres corps, et pourtant la procédure de mesure du poids n'implique la mesure d'aucune autre grandeur. Pour cette raison, nous appelons le poids une « grandeur fondamentale », pour la distinguer de la densité qui est une grandeur dérivée. (Campbell, 1920, p. 275)

---

[77] *Cf* plus haut, la première citation de la section 2.2.

Mais cet usage du concept de différence quantitative entre nombres pour exclure les échelles d'intervalle du champ de la mesure authentique paraît abusif, car il revient à faire d'une certaine différence entre nombres (le ratio) le paradigme des différences quantitatives. Autant postuler que seules les grandeurs additives sont naturelles, ce qui reviendrait à commettre une pétition de principe. Nous ne voulons pas défendre de position précise sur la question de savoir si telle ou telle grandeur non-additive, comme la Température, mérite ou non le non de grandeur « dérivée », au motif qu'on ne peut pas définir d'opération de concaténation physique pour donner un sens objectif à l'addition des nombres. Notons simplement que (Luce & Tukey, 1964) et (Krantz, et al., 1971) ont montré comment on pouvait tout de même définir des échelles additives de grandeurs fondamentales sans opération de concaténation. Par exemple, dans le cas de ce qu'ils appellent les « mesures conjointes » (*additive conjoint measurement*), la mesure d'au moins deux grandeurs comme la température et la pression d'un gaz est obtenue par l'observation de leurs effets conjoints, comme leur effet sur le volume du gaz.

En revanche, l'usage que fait Campbell du concept de différence pour décrire la séparation entre les échelles seulement ordinales et les autres échelles nous semble cruciale :

> Lorsqu'on a établi l'échelle de la dureté, le choix d'un numéro pour représenter la dureté d'un corps n'a pas déterminé le choix des numéros pour représenter les autres corps ; mais dans notre échelle du poids, une fois qu'on a fixé le numéro qui représente un poids, il n'y a plus d'espace pour l'arbitraire, et nous ne pouvons plus que représenter chacun des autres poids par un numéro et un seul. […] Et la façon dont on utilise l'addition pour fixer définitivement les numéros assignés pour représenter les poids apparaît clairement. On choisit un corps quelconque, auquel on assigne un numéro, comme 2 ; on prend un autre corps qui a le même poids ; on les combine selon l'opération que nous appelons addition, et obtient ainsi un corps dont le poids est définitivement et univoquement fixé et représenté par 4. Autrement dit, la fixation définitive des numéros à assigner est liée avec la découverte d'une interprétation physique claire pour le processus d'addition. (Campbell, 1920, p. 277)

Les échelles où des différences quantitatives ont une signification physique ont une caractéristique évidente qui a été peu analysée, sauf par Campbell : une fois choisie l'unité de mesure, c'est-à-dire fixée la référence par exemple du terme « 1 kg » (dans l'échelle de mesure de la Masse en kg), les références des autres termes numériques, comme « 3 kg » et « π kg », sont contraintes. Si on ne peut pas appliquer ces autres nombres à n'importe quels autres objets du domaine mesuré, c'est parce que les différences entre les nombres sont physiquement significatives. Campbell l'explique bien dans le cas des différences de ratio dans les échelles additives, mais avoue aussi qu'un fait similaire s'observe dans les échelles d'intervalle[78]. Seulement, pour obtenir cette contrainte dans les échelles non-additives,

[78] « Il est vrai que le numéro qui doit être assigné pour représenter la densité d'une substance est fixé d'une manière aussi définitive que celui qui représente sont poids », et par « manière définitive », Campbell entend justement qu'une fois fixées les références de certains nombres (comme l'unité), toutes les autres le sont (p. 275).

il faut fixer non pas la référence d'un seul terme mais de deux. Par exemple, une fois fixée conventionnellement la signification physique des termes « 0 °C » et « 100 °C » (respectivement les états thermiques de solidification et d'évaporation de l'eau), alors l'ensemble des autres positions numériques sur l'échelle de la Température mesurée en °C reçoivent des significations physiques contraintes.

On peut donc formuler la proposition suivante, qui permet de caractériser plus étroitement la notion de « différence quantitative » dans une échelle : les différences quantitatives d'une échelle numérique sont dotées de signification physique objective (sont représentatives) lorsque, une fois fixée la référence d'un nombre restreint d'éléments de l'échelle (un pour les échelles additives, deux pour les échelles d'intervalle), tous les autres éléments sont contraints dans leur référence physique.

Comme l'explique Campbell, c'est là le critère fondamental pour distinguer les échelles où les informations portées par les nombres sont physiquement signifiantes, des échelles seulement ordinales. Dans l'échelle de la dureté des matériaux construite par Mohs, au contraire, on peut avoir fixé la référence d'un nombre indéfiniment grand d'éléments de l'échelle (et donc, non seulement les références des dix éléments 1-10, mais aussi de beaucoup d'autres) en ayant construit opératoirement des systèmes physiques impliquant autant de matériaux différents et l'opération de rayage, tout nouveau matériau B, jamais mesuré, peut se voir attribuer n'importe quel nombre pourvu qu'il soit situé entre le nombre représentant le matériau A qu'il raye et le nombre du matériau C qui le raye. A la fois le cardinal et la signification physique de tous les éléments de l'échelle de Mohs ne peuvent être fixés qu'à la condition que tous les matériaux existants actuellement dans le monde aient été éprouvés. Et même en se plaçant dans cette situation limite, un nombre non-interprété physiquement, placé entre deux nombres dont la référence a été fixée, n'a pas de référence physique contrainte et déterminé par sa place sur l'échelle.

On remarque que cette propriété des échelles dotées de différences quantitatives physiquement signifiantes semble accompagner les échelles où les nombres sont associés à une unité. On mesure la Masse en kg (ou en une autre unité), la Température en kelvin, mais on ne mesure pas la dureté en quoique ce soit sur l'échelle de Mohs. Quel est le lien entre ces deux faits méthodologiques ? C'est ce que nous allons étudier dans la suite, en passant à la convention de l'unité.

2.3. Le bilan de l'approche représentationnelle

Nous pouvons tirer des conclusions concernant les choix de représentation qui sont faits pour représenter par des nombres un domaine d'objets physiques à mesurer.

Premièrement, la théorie représentationnelle de la mesure a fourni les moyens formels rigoureux pour définir la force représentationnelle d'une structure numérique. Une telle structure représente objectivement un domaine d'objets s'il existe une correspondance isomorphique entre cette structure et un modèle relationnel de ce domaine. Ainsi, pour décider quelles informations portées par les relations entre nombres dans la représentation ont une signification physique, il faut savoir quel modèle relationnel de ce domaine on est fondé à décrire. Dans les termes de Campbell, il faut savoir si les différences quantitatives entre les nombres sont susceptibles d'être interprétées physiquement.

Deuxièmement il ne suffit pas d'avoir recours à un théorème mathématique de représentation pour expliquer entièrement le fondement de l'applicabilité objective d'une structure numérique. D'après la théorie représentationnelle, une échelle de mesure est représentative d'un domaine d'objets si et seulement si un modèle relationnel dit « qualitatif » de ces objets est vrai. Mais on doit expliquer comment la description structurale d'un système opératoirement construit d'objets empiriques (comme partie d'une structure plus vaste décrite par le modèle) est fondée, et nous retournons à la discussion de la théorie QSE d'Ellis et Forge. Campbell nous a offert une voie pour aller directement à ce fondement : une échelle numérique de mesure est objectivement applicable si elle peut être interprétée comme un système de représentation constructible : en trouvant une opération concrète susceptible d'attester de relations physiques qui interprètent les différences numériques dans la représentation, et en fixant arbitrairement la référence physique d'un nombre limité d'éléments de la représentation.

Or cette seconde conclusion nous permet de faire le lien avec la théorie des SRM du chapitre précédent. Un SRM, souvenons-nous, est un système de référence numérique construit à partir du choix d'un étalon et de la définition d'au moins une opération concrète de mesure. Dans le chapitre précédent, nous avons défini la mesure comme l'attribution à un objet mesuré d'une place dans un SRM. Dans le présent chapitre, nous parlons d'échelles métriques et non de SRM ; il n'est plus question d'étalon et de construction opératoire de SRM, et la mesure se définit maintenant comme l'attribution à un objet d'une place dans une échelle numérique. Or il ressort maintenant que la condition d'applicabilité objective d'une échelle métrique établit un lien entre le concept d'échelle et celui de SRM : une échelle métrique est objectivement applicable si on peut définir une opération concrète susceptible d'attester de relations physiques qui interprètent les différences numériques dans la représentation, et fixer arbitrairement la référence physique d'un nombre limité d'éléments de la représentation. Or ceci est très exactement construire un SRM. Autrement dit, nous pouvons dire qu'une échelle métrique est objectivement applicable si elle peut être identifiée à un SRM constructible. Nous appelons cette condition : la *condition de constructibilité des échelles*. La suite de cette section est entièrement consacrée à l'interprétation de la modalité impliquée dans le terme « constructible ».

3. <u>La convention de coordination entre les objets représentés et les nombres dans la représentation.</u>

Dans cette section, nous abordons une dernière convention d'établissement des échelles de mesure, que nous avons totalement laissée en suspens, mais qui est apparue à l'abord des théorèmes d'unicité. Une fois qu'est choisie une structure numérique à la richesse relationnelle déterminée pour représenter objectivement un domaine d'objets, une dernière convention met en correspondance les deux ensembles.

3.1.Le problème modal de la constructibilité.

Dans l'approche représentationnelle, la correspondance entre la structure numérique et le domaine représenté se fait par la position d'une fonction *f* dont le nom technique est « échelle de mesure ». Le théorème de représentation nous dit à quelle condition une telle fonction existe, mais il peut en exister plusieurs selon l'objet du domaine choisi comme référence du nombre « 1 » dans l'échelle de mesure. Choisir l'une plutôt que l'autre relève d'une convention. Mais nous avons vu avec Campbell qu'une fois ce référent fixé (un seul dans le cas des échelles additive, deux dans celui des échelles d'intervalles), tous les autres éléments de l'échelle recevaient des interprétations physiques contraintes. Le théorème d'unicité, dans l'approche représentationnelle, formalisait ce fait : si une fonction *f* existe, elle peut être transformée par un groupe de transformations admissibles, groupe qui détermine la variété et l'extension des fonctions *f'* possibles. Elles sont l'ensemble des échelles possibles, et les transformations qui les engendrent les unes à partir des autres sont « admissibles » puisqu'elles préservent la même effectivité représentative. Toutes ces échelles engendrent des représentations qui représentent la même structure relationnelle d'objets de mesure.

3.1.1. Changement d'échelle et changement d'unité.

Ici, le terme technique d'échelle rejoint le terme commun, que nous avions défini plus haut comme une structure de nombres associée à une unité. En effet, on doit interpréter une transformation admissible d'une échelle en une autre comme un changement d'unité. Par exemple, soit l'échelle de mesure de la Masse en kg. Selon le théorème d'unicité, il est possible de mettre en correspondance tout autrement les objets représentés et les nombres dans la représentation, par exemple en multipliant tous les nombres par un facteur unique 2,2. C'est l'objet représenté par l'ancienne échelle par le nombre 0,45 qui est maintenant associé au nombre « 1 ». Comme la Masse est une grandeur additive, cette transformation est admissible et préserve toutes les informations structurelles objectives. Dans son sens technique, cette nouvelle correspondance est une nouvelle échelle. Or en faisant cela, on change aussi d'échelle au sens commun du terme : cette transformation est en réalité un changement d'unité de mesure de la masse, le passage du kilogramme à la livre. L'échelle n'est plus la structure des nombres réels positifs associée au « kg », mais cette même structure associée à la « lb ».

Quel est le problème posé par le caractère conventionnel de l'échelle métrique pour représenter le domaine d'une même propriété ? Il implique que pour une propriété mesurable, il existe plusieurs échelles qui diffèrent par les unités auxquelles elles sont associées. Or d'après le théorème d'unicité, ces différentes échelles représentent toutes effectivement la même structure du domaine d'objets. Toutefois, d'après la condition de constructibilité, une échelle possède une effectivité représentative, est objectivement applicable, si elle peut être identifiée à un SRM constructible (par le choix d'un étalon et la définition d'une opération concrète de mesure). Donc toutes les échelles qui diffèrent par l'unité pour mesurer une même grandeur doivent être constructibles comme des SRM.

Que signifie identifier une échelle à un SRM constructible ? Cela implique trois conditions. Premièrement, il faut qu'une opération concrète puisse être définie qui, en assignant le nombre « 1 » à un étalon, engendre un SRM qui est la même structure numérique que l'échelle. Deuxièmement et par conséquent, cela implique que les nombres qui sont des positions dans l'échelle de mesure soient interprétés comme des déterminations métriques, c'est-à-dire des résultats de mesure par l'application de cette opération. Cette opération de mesure établit des relations comme « 2 fois plus massif que » entre les objets mesurés et l'étalon. Donc cette seconde condition énonce que les nombres de l'échelle, comme le nombre « 2 », sont interprétés comme désignant des relations opératoirement établies entre les objets et l'étalon, comme la relation « 2 fois plus massif que ». Troisièmement, cela implique fondamentalement que l'étalon e sur lequel est construit le SRM soit la référence du nombre « 1 » dans l'échelle. Identifier une échelle à un SRM constructible, c'est avant tout considérer qu'il existe un objet empirique auquel on peut faire correspondre le nombre « 1 » dans l'échelle, et sur lequel on peut construire un SRM qui reproduit la structure mathématique de l'échelle.

Le problème que pose cette conclusion est qu'elle implique un énoncé existentiel : pour que chacune de ces échelles soit constructible, il faut *qu'il existe* un objet dans le domaine empirique de la propriété mesurée, qui puisse servir d'étalon pour la construction de cette échelle comme SRM. Donc la condition de constructibilité des échelles a une conséquence ontologique radicale : elle implique que, une fois déterminée une structure numérique entièrement représentative, toute place dans cette structure numérique représente effectivement un objet qui peut servir d'étalon pour la construction d'une échelle où il est représenté par le nombre « 1 ». Nous précisons que la structure doit être « entièrement représentative », car cette conséquence ne vaut évidemment pas pour les éléments qui ne représentent rien mais sont de la structure excédentaire (*excess structure*). Par exemple, les réels négatifs dans une échelle de mesure de la Masse ne seraient pas concernés par cette conséquence de la condition de constructibilité. Mais en dehors de cette restriction, elle implique que toute place représentative de la structure a un référent physique actuel, qui est un objet susceptible de servir d'étalon.

Par exemple, imaginons-nous avoir une échelle de mesure de la Masse en kg, que nous transformons en échelle de mesure de la Masse en lb (livres) en la multipliant par 2,2. Ajoutons que la première échelle était construite, c'est-à-dire identifiée à un SRM construit. Nous avions représenté en

elle différents objets : m_1 servait d'étalon et recevait la détermination métrique « 1 kg », m_2 recevait la détermination métrique « 5 kg » et m_3 « 10 kg ». Il y a deux façons de formuler la conséquence de la transformation de l'échelle sur les mesures de ces objets.

Premièrement, on peut dire que dans la nouvelle échelle en livres, m_1 est maintenant représenté par le nombre « 2,2 », m_2 par « 11 » et m_3 par « 22 », et ces nombres sont associés à une nouvelle unité « lb ». Deuxièmement, on dit aussi qu'ils ont respectivement une masse de 2,2 livres, 11 livres et 22 livres, et ces « masses » sont des déterminations métriques dans un SRM construit à partir d'un étalon « livre ». Mais pourquoi et comment passer de la première formulation à la seconde ? Il le faut car la nouvelle échelle est une transformation *admissible* de la première. Elle est tout aussi objectivement applicable que la première, et donc correspond à un SRM constructible. Maintenant, la question est de savoir si la constructibilité de ce nouvel SRM implique l'existence d'un objet correspondant à la détermination métrique « 1 livre », qui puisse servir d'étalon pour la construction des déterminations métriques « 2,2 livres », « 11 livres » et « 22 livres ». Autrement dit, pour que la nouvelle échelle de mesure en livres soit applicable c'est-à-dire identifiée à un SRM constructible, faut-il *qu'il existe* un objet actuel qui corresponde dans cette nouvelle échelle au nombre « 1 » ?

3.1.2. Discussion d'une objection à cette conséquence ontologique.

On peut le nier, en arguant du fait que l'association de l'étalon e et du nombre « 1 » est tout à fait arbitraire. Pour qu'une échelle soit applicable, peut-être suffit-il d'associer à un étalon un nombre quelconque de l'échelle. En l'occurrence, ne pourrait-on pas décider d'attribuer le nombre « 2,2 » à l'étalon e plutôt que « 1 » ? En faisant ainsi, l'échelle de mesure en livres serait tout aussi applicable, puisqu'elle est identifiée au même SRM que l'échelle de mesure en kg : l'étalon e qui dans la seconde était mesuré comme « 1 kg » est maintenant mesuré comme « 2,2 livres ».

Cette objection ne tient pas, en raison des trois conditions que nous venons de poser pour l'identification d'une échelle à un SRM constructible. L'objection consiste à dire que la troisième condition n'est pas nécessaire, et qu'on peut faire correspondre à un étalon un autre nombre que « 1 » dans la nouvelle échelle. Mais cela est incompatible avec les deux première et deuxième conditions. On voit d'abord que la deuxième condition ne tient plus : si le nombre « 2,2 » est associé à l'étalon du SRM, alors les nombres dans l'échelle de mesure ne peuvent plus être interprétés comme des déterminations métriques au sens précisé à l'instant. En effet, si c'était le cas, alors par exemple le nombre « 11 » dans l'échelle en lb serait interprété comme une détermination métrique qui résulte d'une opération de mesure où l'on établit que l'objet mesuré est « 11 fois plus massif » que l'étalon. Or cela est incohérent avec la relation quantitative entre le nombre « 11 » et le nombre « 2,2 », à savoir un ratio de 5/1. De même, le nombre « 22 » dans cette échelle en lb, interprété comme détermination métrique, désignerait le résultat d'une mesure où un objet est dit « 22 fois plus massif » que l'étalon, alors que le nombre « 22 » n'est

que 10 fois le nombre « 2,2 ». On voit bien que l'échelle numérique en lb ne pourrait pas être interprétée de façon cohérente comme un SRM construit à partir du même étalon que la première échelle, auquel on aurait arbitrairement attribué le nombre « 2,2 ».

Mais notre objecteur pourrait entrevoir une voie de sortie : il remarquerait que les déterminations métriques « 11 e » et « 22 e » pourraient être corrigées dans leur interprétation physique, et ne plus être prises pour désigner les relations « 11 fois » et « 22 fois plus massif que » l'étalon e, mais des relations représentées de façon cohérente par les rapports entre les nombres « 11 » et « 2,2 » d'une part, et les nombres « 22 » et « 2,2 » de l'autre : « 5 fois plus massif que » et « 10 fois plus massif que ». On remarque que le facteur de correction est 0,45 (c'est-à-dire une division par 2,2).

La correction est juste, mais comment notre objecteur est-il en mesure de la justifier, si elle est rendue nécessaire par l'assignation purement *conventionnelle* du nombre « 2,2 » (plutôt que « 1 ») à l'étalon e ? On sait qu'une détermination métrique est le résultat de l'application d'une règle opératoire o à un objet m_i mesuré par rapport à un étalon e. Il nous demande de bien vouloir interpréter les déterminations métriques « 11 e » et « 22 e » comme désignant des relations qui sont en réalité objectivement signifiées par les déterminations métriques d'un autre SRM : « 5 e' » et « 10 e' » dans $SRM_{e'}$. On s'aperçoit alors qu'il nous demande une correction du résultat de la mesure qui ne résulte ni d'un changement d'objet mesuré, ni de l'application d'une autre règle de mesure, et qui ne peut se justifier que par un changement d'étalon. La relation « 5 fois plus massif que » et « 10 fois plus massif que » ne peuvent donc pas désigner les relations des objets m_2 et m_3 avec l'étalon e, mais avec cet autre étalon e' qui a lui-même la détermination métrique 0,45 e. Autrement dit, la correction n'est justifiable qu'à la condition d'admettre qu'on a changé de SRM, et qu'on compare les objets m_2 et m_3 non plus à l'étalon e (le kilogramme-étalon) mais à l'étalon e' (la livre-étalon) qui est objectivement mesuré comme valant 0,45e dans SRM_e.

Or c'est exactement la conséquence de la thèse de la constructibilité des échelles métriques que notre objecteur souhaitait éviter : la nouvelle échelle de mesure de la Masse en lb, multiplication de la première échelle (en kg) par 2,2, n'a d'application objective que par sa constructibilité comme SRM différent du premier, fondé en l'occurrence sur un objet e' différent de e, qui entretient avec lui une relation quantitative déterminée de masse. Par conséquent, la transformation admissible de l'échelle, qui préserve son effectivité représentative, suppose bien *l'existence* d'un objet e' déterminé dans le domaine représenté.

3.1.3. Conclusion : la signification de la modalité de « constructibilité ».

Nous sommes maintenant en mesure de donner la signification de la modalité présente dans la condition de constructi*bilité* des échelles représentatives, et du problème spécifique qu'elle pose.

Pour qu'une échelle, identifiée à un SRM, puisse être construite, bien qu'aucun expérimentateur ne l'ait effectivement construite, il faut et il suffit que l'objet physique qu'elle requiert comme étalon existe *actuellement* dans le monde, et que l'on puisse définir une règle opératoire pour obtenir les déterminations métriques de ce SRM comme résultats de l'application de cette règle de mesure aux différents objets physiques mesurables. La condition de constructibilité d'une échelle est donc en partie une condition d'existence actuelle (celle de l'étalon), et en partie une condition modale concernant l'opération de mesure. Cette dernière est actuellement remplie lorsque, par exemple, on passe d'un SRM de la masse fondé sur l'étalon kilogramme à un SRM bâti sur l'étalon livre. La même opération de mesure utilisée dans le premier SRM, par exemple l'utilisation d'une balance à ressort, est définissable pour construire le second, car elle est déjà définie.

Mais un problème peut se poser lorsqu'on établit une échelle pour mesurer des masses à des ordres de grandeur très différents de celui des objets macroscopiques. Par exemple, pour mesurer les masses des atomes et molécules, on définit couramment l'« unité de masse atomique unifiée » comme 1/12 de la masse d'un atome du nucléide 12C (carbone 12, non lié, au repos et dans son état fondamental). Cette échelle est constructible parce qu'il existe un étalon qui est désigné par cette unité, et parce que l'on peut définir une opération de mesure de la masse des objets physiques en utilisant par exemple une microbalance à quartz. Cet instrument de mesure pour les très petites masses (atomiques) incorpore la loi physique reliant la fréquence de résonnance d'une fine lame de quartz et la masse d'un objet physique déposé sur elle. Cette loi physique fonde l'expérimentateur à inclure cette opération de mesure dans le *cluster* des règles opératives *possibles* pour mesurer la masse. Le terme « possible » dans la dernière phrase capture bien la modalité à l'œuvre dans le caractère définissable d'une règle de mesure pour construire un SRM sur un étalon e. Elle n'est pas une modalité métaphysique mais épistémique : elle signifie que nous sommes épistémiquement capables de découvrir et de définir une telle règle.

La thèse métaphysiquement la plus forte impliquée par la condition de constructibilité des échelles de mesure concerne donc l'extension actuelle du domaine empirique des objets mesurés pour une même grandeur : pour toute échelle représentative de mesure de cette grandeur, ce domaine doit contenir un objet e susceptible de servir d'étalon à la construction de cette échelle comme SRM_e. Or la plupart des échelles de mesure des propriétés physiques fondamentales décrivent des grandeurs continues à l'aide d'une structure de nombres réels. Des sept grandeurs physiques fondamentales du Système International d'Unité, seule la Quantité de matière, mesurée en moles, est une grandeur discrète ; Masse, Temps, Distance, Température, Intensité lumineuse, Intensité électrique, sont des grandeurs continues. Aussi, de très nombreuses grandeurs physiques que l'on peut dériver de ces grandeurs fondamentales sont continues. Or, la condition de constructibilité des échelles implique que pour chacune de ces grandeurs, il existe actuellement une infinité indénombrable d'objets particuliers susceptibles de servir d'étalons pour la mesurer. Est-il raisonnable d'accepter cette conséquence ontologique radicale ?

3.2.L'interprétation ontologique des axiomes existentiels.

Le problème que nous affrontons ici est donc celui de l'interprétation ontologique qu'il faut donner de cette condition de constructibilité des échelles de mesure. Or ce problème s'identifie très bien à un problème en réalité bien connu dans les discussions philosophiques sur la mesure. Il s'agit du problème que posent les axiomes existentiels dans les fondements de la mesure. Dans cette section, nous commençons par exposer précisément ce problème connu, avant d'examiner deux grandes tentatives pour le résoudre, qui sont ontologiquement opposées : la théorie nominaliste des individus purement possibles, et la théorie réaliste qui identifie les magnitudes de grandeurs à des propriétés.

3.2.1. Le problème des axiomes existentiels et des sommes non-actuelles.

En effet, la question que nous posons à la fin de la section précédente a déjà été débattue en théorie de la mesure, sous la forme du problème de l'interprétation des axiomes III et V de Hölder, qui sont des axiomes existentiels :

III. Pour toute paire ordonnée d'objets de M, a et b, leur somme a°b appartient à M.

V. Pour tout objet a et b de M, si a > b, alors il existe x et y dans M tels que a°x = b et y°a = b

La discussion s'est principalement concentrée sur l'axiome III qui affirme la clôture de la relation de sommation ° dans le domaine M. Cet axiome affirme que pour toute paire d'objets a et b de M, il existe un objet c dans M de m telle que c=a°b. On dit alors que l'opération ° est close dans ce domaine, c'est-à-dire définie pour toute paire d'objets de ce domaine. On voit bien que cela implique l'existence d'objets toujours plus massifs, si M est l'ensemble des objets massifs. Or, la vérité de cet axiome n'est-elle pas hautement improbable ? N'existe-t-il pas une borne empirique supérieure au domaine des objets massifs ? Prenez a pour désigner la masse totale de l'univers, et b la masse du soleil, manifestement il n'existe pas d'objet massif c tel que a°b=c, sans quoi a ne serait pas la masse totale de l'univers. Évidemment, la réponse à cette question dépend surtout de ce qu'on désigne par « objet », et c'est pourquoi la discussion qui s'amorce nous fait entrer maintenant dans l'ontologie de ces objets de la mesure.

Le même problème se pose également pour des masses très petites, avec l'axiome V. Imaginons que a désigne l'objet le moins massif de l'univers, et b un objet légèrement plus massif, tel que la masse de b est inférieure à deux fois la masse de a. Si on applique l'axiome V, alors il doit exister un objet massif c telle a°c=b. Mais dans ce cas, c est une masse inférieure à celle de a, ce qui est contredit par

l'hypothèse. Pris ensemble, les axiomes III et V entraînent intuitivement qu'il n'existe ni d'objet le moins massif, ni d'objet le plus massif dans l'univers.

3.2.1.1. Axiomes existentiels et condition de constructibilité de l'échelle.

Or, ces axiomes décrivent, avec les autres axiomes de Hölder, la structure « qualitative » du domaine d'objets qui sont massifs qui fonde l'effectivité représentative des échelles de mesure qui le représentent. Si ces axiomes sont faux, alors nous ne pouvons plus tenir nos échelles de mesure (additive en particulier) pour objectives. Or ces axiomes sont manifestement faux si l'on suit l'ontologie empiriste nominaliste de la mesure, qui interprète les « objets » de la mesure comme des particuliers actuels *concrets*. Cela est largement admis, en particulier à propos de l'axiome III de clôture de la relation de sommation, en s'appuyant sur le fait physiquement établi que l'univers (observable) a une masse-énergie totale finie. Cela vaut également pour l'axiome V. Il paraît plausible de supposer qu'il existe dans l'univers un objet qui est l'objet concert actuel le moins massif, et cette supposition est totalement indépendante des hypothèses que l'on fait concernant le caractère discret ou continu de grandeur Masse. Supposer un objet massif minimal ne revient pas à faire de la masse une quantité discrète, mais à dire qu'il existe des valeurs de la grandeur continue « Masse » inférieures à la masse du moins massif des objets physiques actuellement existants, qui représentent donc des objets massifs non actuels, mais seulement possibles. On voit alors le lien direct avec la formulation générale que nous donnions plus haut du même problème, celui de l'interprétation de la modalité dans la condition de constructibilité d'une échelle. L'objectivité représentative de nos échelles de mesure implique l'existence actuelle d'objets qu'il paraît peu raisonnable de supposer.

Il faut ici se prémunir contre une confusion possible sur le sens précis de cette implausibilité. Le problème le plus sérieux posé par l'interprétation de ces axiomes est ontologique, et concerne la clôture de la relation de sommation définie sur le domaine de tous les objets représentés. Faut-il admettre l'existence *actuelle* de toutes les sommes requises idéalement pour décrire la structure adéquate, afin que ce domaine soit effectivement représenté par l'échelle numérique ? C'est du moins ce problème ontologique que nous posons ici. Mais on peut aussi formuler un problème analogue concernant la clôture d'une opération concrète de concaténation, par exemple l'opération de placer deux objets massifs sur le même plateau d'une balance. Il est clair que pour des objets trop massifs, l'opération est impossible, ou qu'elle n'est pas significative pour des masses trop petites :

> Bien que la notion d'une structure extensive close soit simple et élégante, elle offrirait une théorie de la mesure bien peu plausible (« it is unrealistic as a theory of measurement »). En effet, on y suppose que ° est une opération close. Ceci implique à la fois que [M] est infini et, avec l'axiome archimédien, qu'on peut construire des entités arbitrairement grandes. Or il est clair que, si a et b sont des bâtons, on peut

> produire a°b seulement si on a assez de place pour le faire. Si le laboratoire n'est pas assez grand, on peut aller dans le couloir et en cas d'échec, sortir dans l'allée du campus. Mais tôt ou tard, on sera bien obligé d'arrêter de concaténer. La théorie classique ne fait aucune tentative pour intégrer cette limitation pratique, et donc inclut beaucoup de constructions et comparaisons imaginaires qui ne peuvent en réalité pas être effectuées. (Krantz, et al., 1971, p. 82)

Ils font ici référence à une limitation pratique de nos opérations concrètes de concaténation, qui impose de ne pas accorder à l'axiome de clôture une signification littérale. Pour résoudre ce problème, ils proposent un nouvel axiome qui n'impose de clôture que pour les objets qui sont susceptibles de tenir ensemble dans un laboratoire. Par exemple, si la somme de a et b existe et que c est moins massif que b, alors cet axiome requiert que la somme de a et c existe. Leur axiome n'impose l'existence actuelle de sommes qu'à la condition que ces sommes soient inférieures à une somme dont l'existence pratique est attestée.

Mais il nous semble que ce problème pratique et méthodologique concernant la clôture de l'opération concrète de concaténation peut être surmonté plus simplement, sans avoir à remplacer l'axiome de clôture. Il suffit de ne pas réduire l'existence de sommes à leur construction par concaténation effective, en notant que cet axiome porte sur une relation de sommation ° qui peut valoir pour toutes les paires d'objets du domaine M, sans que toutes ces relations soient attestées par une unique opération o de concaténation. Il suffit pour cela de suivre Ellis dans la critique de l'opérationalisme, et d'admettre l'existence d'une structure empirique que l'opération effective o ne fait que dévoiler partiellement. Pour des objets auxquels on ne peut plus appliquer l'opération o, parce qu'ils sont trop massifs ou trop longs, on peut définir une autre opération o', du même cluster d'opérations, qui prend le relai de la première. Il nous semble donc que le problème posé par l'axiome de clôture est plus profondément un problème ontologique, qui porte sur la relation de sommation objective entre les objets de M, plutôt qu'un problème méthodologique concernant les limitations pratiques qui affectent une opération déterminée.

Une fois cette précision faite, la question demeure de savoir si, pour des places dans l'échelle numérique dont il paraît peu raisonnable de dire qu'elles représentent des sommes actuelles, il faut tout de même affirmer l'existence actuelle de ces objets dans l'univers, ou bien considérer qu'elles ne signifient que des mesures possibles : c'est-à-dire qu'il y a un objet possible qui, s'il était actuel, correspondrait à cette mesure. D'une manière ou d'une autre, il faut trouver une interprétation ontologique de ces axiomes existentiels qui permet de ne pas les tenir pour littéralement faux, ce qui aurait pour conséquence de faire s'écrouler tout l'édifice de la théorie de la mesure (pour les grandeurs additives). Comme l'écrit Mundy :

> A coup sûr, tout le système des grandeurs physiques et des lois quantitatives ne s'écroulerait pas si, par quelque accident cosmique, tous les exemples actuels d'objets faisant précisément deux mètres de long étaient détruits, tandis que le mètre étalon restait intact. Il est donc clair que la seule interprétation raisonnable de ces thèses existentielles n'est pas que toutes ces sommes existent actuellement, mais plutôt qu'on *pourrait* construire de telles sommes. (Mundy, 1987, p. 32)

Le problème est alors de savoir ce qui fonde, ontologiquement, la constructibilité de ces sommes, c'est-à-dire la possibilité de ces résultats de mesure. Si les axiomes existentiels sont correctement interprétés comme impliquant des énoncés conditionnels pour toutes les mesures qui ne désignent pas un particulier concret actuel (du type : « si un particulier concret b x fois plus massif qu'un particulier actuel a existait, alors sa mesure serait … »), alors il faut donner le fondement de la vérité de ces conditionnels. A partir de l'approche empiriste nominaliste de la mesure, qui identifie les objets mesurés à des particuliers concrets, deux options ont été explorées dans la littérature : soit une extension modale de cet empirisme, qui tente de fonder ces énoncés conditionnels sur l'existence de particuliers possibles, soit une extension non nominaliste de l'ontologie, qui les fonde sur l'existence actuelle d'entités non particulières (des universaux).

3.2.1.2. La tentative empiriste-nominaliste.

La première option a été rapidement explorée par (Hempel, 1952, p. 86). Elle consiste à interpréter la constructibilité des sommes non-actuelles comme la vérité d'un énoncé conditionnel comme : « si un particulier correspondant à cette somme existait, alors il satisferait les autres axiomes de Hölder ». Incontestablement, cette échappée possibiliste de Hempel capture efficacement ce que l'on veut dire lorsqu'on parle d'un résultat de mesure possible : c'est le résultat qu'on obtiendrait si le particulier correspondant existait. Néanmoins, elle pose deux problèmes redoutables.

Premièrement, il se peut fort que l'admission de particuliers seulement possibles dans le domaine représenté par une échelle sape la représentativité de cette échelle. La vérité des axiomes décrivant la structure du domaine des objets de la mesure est une condition nécessaire à la représentativité de toutes les échelles qui peuvent représenter ces objets. N'importe quelle échelle (d'un ensemble d'échelles qui ne varient que par l'unité choisie) est effectivement représentative si elle est isomorphe à une représentation « qualitative » décrivant la structure relationnelle de ce domaine d'objets. Une telle échelle *est* représentative, c'est-à-dire que sa représentativité est actuelle et non seulement possible. Or la solution de Hempel consiste à dire que ce domaine contient des objets actuels et des objets seulement possibles. La question se pose alors de savoir comment une même structure peut être *actuellement* valable sur un ensemble regroupant des objets actuels et des objets possibles. En particulier, on sait que si la structure est bien le cas, elle fonde l'objectivité de la représentation d'un

objet mesuré par une place dans l'échelle. Mais dans ce cas, comment des conditionnels, vrais pour des objets seulement possibles, peuvent participer à fonder la représentativité d'une échelle pour des objets actuels ? Comme l'écrit Swoyer :

> Des idéalisations, qui impliquent des objets possibles et des observations potentielles, sembleront bien moins attirantes quand on aura porté notre attention sur les fondations métaphysiques de la mesure, c'est-à-dire sur les questions concernant les conditions de vérité des énoncés qui associent des échelles numériques à des choses du monde. […] Ici le problème est qu'il n'apparaît pas clairement quelle sorte de contact épistémique, sémantique et causal nous avons avec des individus seulement possibles. Comment pourrions-nous jamais avoir une connaissance – et même une croyance justifiée – à leur propos ? Comment les termes de notre langage pourraient en venir à les dénoter ? Comment des faits concernant ces individus possibles pourraient rendre vrais ou faux, dans le monde actuel, des énoncés comme ceux, par exemple, qui portent sur les mesures actuelles d'objets actuels ? (Swoyer, 1987, p. 255)

On ne voit donc pas comment ces objets seulement possibles peuvent servir de fondement à la représentativité actuelle de nos échelles de mesure. A ce problème de fondation, s'ajoute le classique problème d'accès sémantique et épistémique à de pures *possibilia*. On ne voit ni comment nous pourrions désigner ni vérifier la vérité de nos énoncés concernant (ou simplement connaître) de pures possibilités. Ce qui fait dire à Mundy que :

> …l'introduction de tels quantificateurs modaux paraît mettre complètement à mal le caractère empirique de la théorie, puisqu'on n'a aucun moyen de déterminer la vérité ou la fausseté de telles thèses d'« existence possible ». La seule interprétation empirique nette que nous possédons pour le langage de premier ordre d'une théorie de premier ordre est celle, standard, selon laquelle les quantificateurs existentiels assertent l'existence actuelle d'un objet actuel. Selon cette interprétation, les présuppositions existentielles des théories de premier ordre de la mesure extensive standard devraient tout simplement être fausses, et ne mériter aucunement d'être admises comme universellement vraies sur la base des preuves empiriques qui nous sont accessibles. (Mundy, 1987, p. 33)

Si comme l'affirme Mundy une telle extension modale de l'empirisme est une négation pure et simple de l'empirisme, et si l'on tient à rester dans le cadre d'une ontologie nominaliste, pour laquelle le domaine des objets mesurés est celui de particuliers concrets, alors il faut en rester aux objets concrets actuels, à propos desquels les axiomes existentiaux de Hölder sont tout simplement faux. Cette première option est donc une impasse.

La seconde et seule voie ouverte est une extension non-nominaliste de l'ontologie pour fonder la mesure. C'est vers elle que nous nous tournons maintenant.

3.2.2. La théorie des Structures de Magnitudes-Propriétés (SMP) de Swoyer et Mundy.

Une voie originale s'est ouverte depuis les travaux de Chris Swoyer et Brent Mundy sur les fondements ontologiques de la mesure. Ils défendent ensemble la thèse selon laquelle les « objets » de la mesure, c'est-à-dire ce qui dans la réalité est objectivement représenté par les valeurs de nos échelles de mesure, ne sont pas des objets particuliers concrets mais des propriétés. Les différentes magnitudes de la grandeur « Masse » sont selon eux des propriétés déterminées, instanciées dans la réalité empirique par des objets qui sont différemment massifs. Par conséquent, une échelle de mesure (pour la grandeur M) représente non pas la structure des particuliers massifs, mais des propriétés déterminées de masse. Et ce qu'on mesure en le situant à une place dans cette échelle numérique, ce n'est pas un objet concret mais la propriété déterminée de masse qu'il possède. Nous appelons cette théorie la thèse des « magnitudes-propriétés », car elle consiste principalement à analyser les objets de la mesure ou magnitudes non pas comme des particuliers concrets mais comme des propriétés.

Dans cette section 3.2.2., nous présentons une première salve d'arguments en faveur de cette théorie des Structures de Magnitudes-Propriétés (SMP), dont nous montrons qu'ils ne sont pas suffisants pour la préférer à la théorie que nous défendons. A la fin du chapitre V, nous avons en effet présenté une version non-nominaliste de la théorie des Quantités comme Structures Empiriques (QSE), qui affirme l'existence d'une structure sur le domaine d'objets d'une propriété mesurable m, où les objets ne sont pas des particuliers concrets mais des *abstracta*, identifiés aux places de cette structure. En un sens, la théorie SMP rejoint la théorie QSE dans un commun rejet des particuliers concrets comme objets de la structure représentée par nos échelles de mesure. Mais si ces objets ne sont pas des *concreta*, il restera qu'ils ne sont pas nécessairement pour autant des universaux, comme l'affirme SMP.

3.2.2.1.L'argument fondé sur l'intuition métrologique.

Pour défendre cette ontologie, Swoyer et Mundy développent une batterie d'arguments dont le premier fait appel à un prétendu appui intuitif de la thèse des magnitudes-propriétés. Par exemple, Mundy explique que :

> D'un point vue intuitif, il est difficile de nier que nous pensons à la taille ou la magnitude d'un objet physique comme à une propriété quantitative de cet objet, qui pourrait être partagée par d'autres objets. En même temps, nous nous figurons des relations numériques (« deux fois plus », « deux fois moins ») comme des relations que des magnitudes particulières ont entre elles, ce qu'expriment des énoncés comme : « la taille de x est deux fois plus grande que celle de y ». Ici, on lit naturellement « la taille de x » et « la taille de y » comme se référant évidemment à certaines propriétés quantitatives de premier

> ordre possédées par x et y, et on comprend que l'énoncé attribue une certaine relation de second ordre entre ces deux propriétés de premier ordre. (Mundy, 1987, p. 34)

Or il nous semble très imprudent de s'appuyer sur les sous-entendus ontologiques du langage métrologique et des intuitions qu'il drague. Il est certain que l'approche nominaliste des objets de la mesure, qui demande de les concevoir comme particuliers concrets, fait violence à nos intuitions, ce qui pourrait se justifier si l'ontologie intuitive devait poser problème. Mais il est douteux que le réalisme des magnitudes-propriétés puisse de son côté se réclamer d'un accord parfait avec nos intuitions métrologiques. Il implique tout de même que, lorsque nous mesurons la masse d'un objet concret que nous avons suspendu au crochet d'une balance à ressort, le véritable objet mesuré soit la propriété déterminée instanciée par cet objet, et non l'objet lui-même. Lorsque nous disons que « la masse de ce vase mesure 3 kg », c'est non de ce vase mais d'une propriété dont sa représentation par un nombre déterminé dans une échelle (ici, « 3 kg ») nous dit objectivement qu'elle est en relation déterminée « trois fois plus massif que » avec l'objet représenté par la valeur « 1 kg ». C'est de cette propriété que sont donc objectivement affirmés les faits relationnels constitutifs d'une mesure. Or il est douteux que nous soyons intuitivement prêts à renoncer au fait que c'est d'un objet *particulier* (un particulier massif) que nous affirmons quelque chose dans une mesure de sa masse, en le situant à une place déterminée sur l'échelle. Quoiqu'il en soit, le réalisme des magnitudes-propriétés ne peut pas reprocher à une ontologie adverse de s'écarter d'intuitions métrologiques dont il s'écarte lui-même tout autant, parce que ces intuitions sont ontologiquement sous-déterminées.

3.2.2.2.L'argument fondé sur la signification de l'unité.

Un deuxième argument très intéressant se fonde sur la signification des termes désignant les unités dans les échelles de mesure, comme « kilogramme », « joule », etc. Selon Swoyer, ils ne doivent pas faire référence à des particuliers, mais à des propriétés, sous peine de les confondre avec des noms d'étalons :

> Il arrive fréquemment que nous spécifions les unités de mesure pour des grandeurs comme la longueur ou le temps d'une manière générale. Par exemple, au lieu de faire appel à un objet comme la barre du mètre standard, nous concevons maintenant le mètre comme quelque chose qui peut être instancié dans des laboratoires très distants, comme la longueur égale à un certain nombre de longueurs d'onde (dans le vide) d'une couleur particulière d'une lumière émise par des atomes de krypton 86. (Swoyer, 1987, p. 240)

Contrairement à un nom d'étalon, qui désigne bien un objet physique particulier, une unité est effectivement définie théoriquement, comme un état de choses qui suivrait certaines conditions initiales selon des lois physiques déterminées. Swoyer veut ici en conclure que l'unité désigne une propriété déterminée d'une grandeur, et non un particulier. Mais l'argument ne peut être valable, premièrement, que contre une interprétation nominaliste du concept d'unité, qui fixerait sa référence à des particuliers *concrets*, mais ne permet pas de disqualifier une ontologie qui fait des étalons des particuliers non-concrets.

Surtout, deuxièmement, il n'est valable qu'à la condition d'accepter au préalable une certaine ontologie des lois de la nature désignée par les lois physiques utilisées dans la définition d'un concept d'unité. Swoyer s'appuie implicitement sur une vision des lois qui en fait non pas des connexions constantes entre phénomènes particuliers (vision empiriste-régulariste), mais une relation qui tient entre les propriétés (et relations) instanciées par ces particuliers. Nous reviendrons longuement sur cette question dans le chapitre VII consacré à l'ontologie des lois de la nature.

Cette remarque vaut de manière générale contre tous les appels que fait Swoyer au réalisme scientifique en général, qui impliquerait directement selon lui un engagement ontologique envers des magnitudes-propriétés. L'existence de telles propriétés permettrait d'expliquer métaphysiquement, pêle-mêle : le fait qu'on attribue la même mesure à des objets différents, mais aussi le succès empirique de nos mesures, l'accroissement de précision grâce à l'amélioration de nos instruments, etc. Mais comme tel, l'argument est trop imprécis, car on ne voit plus bien ce qui distingue le réalisme métrique, qui est une thèse épistémologique nous accordons, du réalisme ontologique des magnitudes-propriétés – et certainement confondre le second avec le premier ne peut pas être une bonne méthode pour le prouver ; et l'argument est aussi trop large, pour ne pas fragiliser leur stratégie autant qu'il paraît la renforcer, en faisant dépendre leur thèse ontologique précise d'une thèse beaucoup plus générale sur l'ontologie des sciences physiques.

De l'examen de cette première batterie d'arguments, il ressort qu'ils ne sont pas suffisants pour défendre SMP face à une autre théorie ontologique *non-nominaliste* des magnitudes. C'est pourquoi dans les sections 3.2.3. et 3.2.4., nous regardons de près la stratégie naturaliste par laquelle néanmoins Swoyer et Mundy pourraient parvenir à défendre efficacement leur théorie.

3.2.3. L'argument naturaliste fondé sur le réalisme métrique.

En effet, l'appel au réalisme scientifique et au succès empirique de nos pratiques de mesure prend corps lorsqu'on considère la stratégie démonstrative principale de Swoyer et Mundy pour soutenir la thèse des magnitudes-propriétés. C'est leur argument principal, fondé sur le réalisme métrique.

L'argument vise à montrer que le réalisme métrique *implique* le réalisme des magnitudes-propriétés. La démarche est fondamentalement intéressante, puisqu'elle consiste à dériver une thèse

ontologique (les magnitudes mesurées sont des propriétés et non des particuliers) à partir d'une thèse qui n'est pas ontologique mais méthodologique et épistémologique. En effet, le réalisme métrique affirme que nos mesures peuvent désigner des traits objectifs des phénomènes mesurés, et se ramène donc à une thèse sur l'objectivité métrique. Comme l'écrit Swoyer :

> J'entends par réalisme de la mesure le point de vue duquel la mesure nous donne dans la plupart des cas des informations sur les traits objectifs des phénomènes qui sont seulement teintées par quelques éléments intéressants de convention. (Swoyer, 1987, p. 237)

Et nous avons déjà rapporté, dans le chapitre V, les arguments importants en faveur du réalisme métrique. Mais comment peut-on en dériver la thèse ontologique selon laquelle nos échelles de mesure désignent objectivement des structures de magnitudes-propriétés ? Swoyer et Mundy adoptent une stratégie naturaliste, qui suppose de reformuler les hypothèses scientifiques énonçant les propriétés structurales que doit avoir le domaine représenté en une théorie scientifique quantifiant sur des individus de deuxième ordre : les propriétés et relations déterminées elles-mêmes, comme « être deux fois plus massif que », etc. Si on les suit, alors les hypothèses fondant la mesurabilité d'une grandeur, formulées dans les axiomes de Hölder, ne sont plus des postulats empiriques nécessaires aux pratiques de mesure, mais forment une théorie portant sur ces propriétés et relations comme entités théoriques. Leur souhait est alors de montrer qu'une théorie de la grandeur Q, qui quantifie sur ces entités non-nominalistes (et non-particulières), est (1) une authentique théorie scientifique qui, (2) possède une base empirique fournissant un support pour l'engagement ontologique envers ces propriétés et relations. Mundy présente ici une telle théorie de la grandeur, qu'il appelle « TQ » :

> On a montré que la théorie de deuxième ordre TQ possède une interprétation empirique, dans les termes de laquelle les lois empiriques bien connues qui gouvernent les procédés élémentaires de mesure apparaissent comme des théorèmes de cette TQ. Par conséquent, TQ possède un appui empirique (*empirical support*) considérable et, à la différence des théories des quantités de premier ordre, ne présente pas de conséquence à la fausseté évidente. Il semble donc que TQ ou tout équivalent formel soit la théorie correcte des grandeurs physiques extensives actuelles. (Mundy, 1987, p. 45)

Les « conséquences évidemment fausses » dont parle Mundy sont précisément les affirmations d'existence de sommes d'objets concrets qui ne sont très probablement pas réalisées dans l'univers actuel. Notre but ici n'est pas de critiquer la stratégie naturaliste mise en œuvre pour défendre le réalisme des magnitudes-propriétés. Nous allons seulement noter qu'elle repose entièrement sur la reformulation, selon eux nécessaire, des postulats de mesurabilité de la grandeur M, en une théorie de deuxième ordre quantifiant sur d'authentiques propriétés et relations.

Or, nous trouvons chez eux deux arguments en faveur de cette reformulation, dont aucun ne nous semble montrer qu'elle est nécessaire. Ces deux arguments visent à montrer qu'une interprétation extensionnelle des prédicats de relations présents dans les axiomes d'une théorie de la grandeur M n'est pas satisfaisante, et qu'il faut passer à une sémantique intensionnelle, pour laquelle ces prédicats ($<_m$, $\circ_m$) désignent des entités de deuxième ordre, irréductibles à des n-uplets de particuliers de premier ordre.

3.2.3.1.Le caractère intensionnel de la signification des prédicats.

Commençons par un argument que l'on trouve chez Swoyer. Les échelles de mesure sont vues comme des structures numériques, qui sont isomorphes à un modèle « qualitatif » décrit par les axiomes fondamentaux de la mesure de M. Si ce modèle qualitatif décrit la structure réelle des objets mesurés, alors l'échelle fournit des mesures objectives. Au sens classique de la théorie des modèles, où nous utilisons le terme jusqu'ici, un modèle est une structure relationnelle extensionnelle, où les relations qui valent entre les objets de premier ordre et qui leur donnent une structure, sont définies extensionnellement comme des n-uplets ordonnés de ces objets. Voici comment Swoyer motive le passage à ce qu'il appelle des IRS, des Structures Relationnelles Intensionnelles pour décrire les objets représentés et mesurés :

> Comme Suppes l'a parmi d'autres souligné, la notion de modèle a beaucoup à voir avec le concept de modèle développé par les logiciens ou, dans nos termes, avec celui d'une structure relationnelle. Mais je crois qu'il y a une différence importante. On ne compte pas quelque chose comme une cas de système de mécanique classique simplement parce qu'il peut être décrit par un ensemble d'énoncés qui satisfont une axiomatique consistante de la théorie de Newton. Il est trop facile de trouver des choses qui remplissent cette condition. Beaucoup plus intéressants sont les modèles qui donnent aux termes non-logiques dans les axiomes leur interprétation supposée – dans lesquels la masse est la masse et la longueur est la longueur. Cela doit être conservé quand on s'autorise à changer les objets individuels et les conditions initiales d'un modèle à l'autre. En utilisant d'authentiques structures relationnelles, nous pouvons dire que ce sont les interprétations supposées des propriétés comme la masse et la force qui nous intéressent et que nous voulons garder, en pouvant changer les objets individuels et les conditions initiales d'un modèle à l'autre. (Swoyer, 1987, p. 261)

Il n'est pas facile de savoir ce que Swoyer veut dire en disant qu'il est « trop facile » de trouver un domaine d'objets qui peut être représenté qualitativement dans un modèle où sont satisfaits des axiomes structuraux – ici les axiomes de la théorie du mouvement de Newton, mais pour ce qui nous concerne, les axiomes fondamentaux de la mesure. Peut-être Swoyer fait-il référence au problème développé par (Demopoulos & Friedman, 1985), qui est une formulation récente du problème de Newman avait opposé au structuralisme épistémologique de Russell (Newman, 1928). Selon cette

interprétation, Swoyer pointerait la nécessité de donner une interprétation physique aux prédicats relationnels de ces axiomes, pour éviter que tout domaine, avec un cardinal suffisant, puisse être représenté par ce modèle qualitatif. Il ne suffit pas d'avoir suffisamment d'objets pour les représenter objectivement par une échelle de mesure, il faut aussi que ces objets soient *réellement* ordonnés par une relation d'ordre « plus massif que » et reliés par la relation ternaire de sommation « ° en masse ».

Selon une seconde interprétation, Swoyer voudrait dire quelque chose de plus précis et de plus pertinent pour la représentation métrique. Lorsque nous représentons un domaine d'objets massifs par une échelle de mesure de la Masse, les prédicats relationnels ont une « interprétation supposée » qui est intensionnelle : on décrit une structure additive entre objets mesurés *pour leur masse*, et donc les termes non-logiques comme $<_m$ et $°_m$ doivent être interprétés comme des relations entre les aspects pertinents de ces objets, leurs aspects massifs. Cette interprétation se confirme à la lecture d'un autre article de Swoyer, où il argumente à nouveau en faveur d'une sémantique intensionnelle pour les prédicats relationnels dans les axiomes de la mesure :

> Tout système actuel […] présente probablement beaucoup de caractéristiques, et pour faire sur lui des raisonnements systématiques et précis, il faudra se concentrer sur certaines au détriment d'autres. En effet, le progrès intellectuel et cet effort d'abstraction marchent souvent main dans la main, avec le fait de discerner quelques propriétés comme la force, l'énergie et autres causes invisibles des phénomènes qui nous entourent. […] De plus, la représentation elle-même est chargée d'intensionalité, puisqu'une représentation peut représenter quelque chose comme ayant une propriété sans le représenter avec toutes les propriétés coextensives à la première. Supposons qu'exactement les mêmes objets sont bleus et ont une densité de $7g/cm^3$. On conçoit raisonnablement ce qu'affiche un instrument construit pour détecter les couleurs comme une représentation de la couleur de ces objets, plutôt que leur densité, et il est encore plus clair que « bleu » ne représente que la couleur, et « $7g/cm^3$ » que la densité. Or l'utilisation traditionnelle des systèmes relationnels extensionnels ne permettrait pas bien d'en rendre compte ; d'authentiques propriétés et relations le pourraient beaucoup plus aisément. (Swoyer, 1991, p. 454)

Ici, Swoyer fait premièrement référence aux idéalisations nécessaires lorsqu'on représente scientifiquement des phénomènes, où l'on sélectionne certains aspects à représenter au détriment d'autres ; et deuxièmement, au problème classique de coextensivité contre l'interprétation extensionnelle des propriétés. Nous avons déjà rencontré ces problèmes lors de l'examen de la théorie QSE d'Ellis et Forge, qui identifie une propriété quantitative à une structure empirique. Swoyer se fonde ici sur ce problème pour motiver une interprétation intensionnelle des prédicats décrivant la structure des objets mesurés dans le modèle qualitatif : nous aurions besoin qu'ils désignent d'authentiques propriétés et relations parmi les objets du monde :

> En bref, les théories ne sont pas de simples outils formels ; en général elles sont reliées au monde, et une manière de l'être passe par une relation de dénotation entre leurs prédicats et d'authentiques propriétés et relations dans le monde. (Swoyer, 1987, p. 261)

Swoyer a raison de s'appuyer sur cet argument pour repousser toute ontologie qui ferait des « objets » mesurés de simples objets concrets, comme le ferait le nominaliste. Mais c'est tout ce qu'il a le droit de conclure, et l'argument ne permet pas de trancher entre les théories ontologiques rivales concernant la nature des propriétés et de leurs instanciations. Comme nous l'avons de fait montré dans le chapitre V, une interprétation de la théorie QSE qui ne renonce pas à fonder la mesurabilité d'une propriété sur l'existence d'une structure entre objets *empiriques*, tout en refusant d'identifier ces objets aux *concreta* nominalistes, est encore tout à fait possible. Autrement dit, la dimension intensionnelle de la signification des prédicats comme $<_m$ et $\circ_m$ peut être tout aussi bien assurée dans une ontologie des tropes (et classes de tropes) que dans une ontologie d'états de choses et d'universaux. Les deux ontologies permettent de fonder les idéalisations qui sélectionnent certains aspects de ces objets, et de répondre au problème de coextensivité des propriétés. Ceci ne constitue donc pas un argument suffisant en faveur d'une théorie SMP.

3.2.3.2.L'usage d'une échelle n'est pas celui d'un modèle.

Le second argument, que l'on trouve chez Swoyer et chez Mundy, fait fond sur la difficulté de donner une interprétation nominaliste des axiomes existentiels, et en particulier de l'axiome de clôture de la relation de sommation.

Avant d'y venir, il faut faire un sort à l'idée que Swoyer avance à la fin d'une citation précédente. Il écrivait que dans une représentation scientifique (qualitative) d'un domaine d'objets, il est utile d'avoir un modèle où ces relations sont interprétées comme se référant fixement à d'authentiques relations entre ces objets, parce qu'ainsi nous pouvons conserver le même modèle pour représenter des situations physiques différentes qui impliquent des objets particuliers différents : « ce sont les interprétations supposées des propriétés comme la masse et la force qui nous intéressent et que nous voulons garder, en pouvant changer les objets individuels et les conditions initiales d'un modèle à l'autre ». Autant on peut voir de quel usage des modèles scientifiques Swoyer fait ici mention, autant il est douteux que cette raison soit décisive dans le cas des modèles qualitatifs décrivant la structure d'un domaine quantitatif. Si, par exemple, nous construisons un modèle représentant les interactions gravitationnelles entre trois corps par les lois de Newton, il est utile de l'appliquer à des situations physiques différentes, où l'identité des corps, mais aussi les conditions initiales (leurs masses, leurs situations cinématiques relatives) sont variables. Le même modèle, c'est-à-dire un modèle contenant les mêmes prédicats et relations, peut être utilisé pour décrire un système avec une étoile et deux planètes,

mais aussi pourquoi pas un système avec deux étoiles et une planète, voire un atome avec un noyau et deux électrons (bien que le modèle planétaire de l'atome ait depuis Bohr largement montré son inadéquation). Aussi, c'est important, le nombre des objets représentés dans le modèle peut varier, sans que le modèle change essentiellement (sans égard bien sûr aux effets sur la complexité computationnelle induits par l'augmentation du nombre d'objets qui interagissent).

Mais nous doutons que l'usage d'une échelle de mesure soit du même type, puisque lorsque nous mesurons par exemple les masses de corps distincts, la structure des magnitudes représentée dans le modèle est toujours la même, et les magnitudes sont toutes aussi nombreuses. C'est l'unique structure des magnitudes de la Masse qui est objectivement représentée par l'échelle numérique, et dans laquelle on situe des corps distincts en mesurant leurs masses. Autrement dit, il est faux dans cet usage d'une représentation scientifique, de dire qu'en appliquant l'échelle à la mesure d'objets physiques concrets distincts, on fait varier les objets représentés comme dans l'exemple des modèles gravitationnels. Au contraire, l'échelle de mesure de la grandeur M représente toujours les mêmes objets de la mesure, ce sont les magnitudes-propriétés composant la structure S_M. Autrement dit, si l'on parle comme eux en termes de modèle, le modèle d'une grandeur M est unique et reste le même quand on l'applique en différents contextes. Cela diminue le besoin dans lequel nous serions de faire référence à d'authentiques propriétés et relations par nos prédicats dans le modèle qualitatif.

Passons maintenant à l'ultime argument développé par Swoyer et Mundy, qui vise à défendre une formulation de second ordre de toute théorie physique de la quantité M, qui quantifierait sur des propriétés et relations, et dont la confirmation empirique (par le succès de nos pratiques métriques) nous engagerait envers une ontologie SMP. Ce dernier argument est fondé sur l'interprétation des axiomes existentiels de la mesure.

3.2.4. La théorie SMP face aux axiomes existentiels de la mesure.

Le problème posé aux empiristes nominalistes par les axiomes existentiels de la mesure (la mesure extensive en particulier, avec l'axiome de clôture de la relation de sommation) est donc l'argument majeur utilisé par Swoyer et Mundy en faveur d'une théorie SMP des objets de la mesure. Leur argument consiste à dire que leur théorie propose une interprétation de ces axiomes qui est plus plausible que l'interprétation nominaliste en termes de particuliers concrets actuels, tout en permettant aussi bien de fonder la signification modale qu'on leur donne intuitivement.

La théorie SMP répond donc au problème en deux temps. Premièrement, elle interprète la relation de sommation comme valant sur toutes les propriétés déterminées actuelles de masse, plutôt que sur tous les particuliers concrets actuels. Cette relation compose alors bien une structure *actuelle* qui est représentée par notre échelle de mesure. Mais, deuxièmement, la théorie SMP utilise la nature ontologique spécifique des universaux pour fonder la vérité des énoncés modaux comme : « si un objet

particulier existait, qui correspondait à cette somme, alors il respecterait avec les autres objets les relations d'ordre et de sommation ». En effet, Mundy en particulier, nous demande d'admettre l'existence d'universaux non-instanciés, correspondant à toutes les propriétés déterminées qui ne sont pas possédées par des objets physiques concrets mais qui pourraient l'être (sauf si une loi de la nature interdit par ailleurs l'instanciation de telle ou telle propriété déterminée, par exemple pour des raisons de « masse critique »). Par exemple, on admet ainsi qu'il n'existe pas de particulier concret dont la masse est « deux fois plus grande » que celle de l'univers entier. Mais une telle somme est concrètement *possible*, parce qu'il existe *actuellement* une propriété déterminée de masse qui est « deux fois plus grande » que la propriété déterminée de masse instanciée par l'univers entier, et parce que cette propriété n'est pas instanciée mais *pourrait* l'être.

Swoyer, en accord avec Armstrong, n'admet pas d'universaux non-instanciés et préfère parler d'« universaux possibles » (au sens de non-actuels). Mais nous ne débattrons pas ici des avantages comparés d'une théorie (dite « platoniste ») qui admet des universaux non-instanciés et d'une théorie (dite « aristotélicienne ») qui oblige tout universel à avoir au moins une instance, et qui est alors contrainte d'admettre des universaux possibles. Nous admettons, pour pouvoir continuer la discussion de leur théorie SMP, que l'existence d'un universel (actuel et non-instancié, ou possible et instanciable) est un bon fondement ontologique pour la vérité des énoncés contrefactuels, portant sur un particulier possible qui instancierait cet universel.

Un empiriste comme Hempel, à qui Swoyer avait barré la voix des *concreta* possibles, pourrait leur reprocher d'avoir recours eux-aussi à des entités sémantiquement inaccessibles, et retourner contre eux les arguments de Swoyer. Comment pourrait-on mieux nous référer à des propriétés non-instanciées qu'à des particuliers seulement possibles ? Selon Swoyer, il est possible de fixer la référence des termes désignant des propriétés déterminées non-instanciées, parce que la description définie que nous pouvons en donner, en décrivant les relations d'ordre et de sommation qu'elles ont avec toutes les autres, c'est-à-dire leur place dans la structure, est une description rigide (Swoyer, 1987, p. 269). Il apparaît donc essentiel, pour assurer le succès de la référence à ces propriétés déterminées, de poser une contrainte sur la structure qu'elles composent : il faut que, d'une manière ou d'une autre, en décrivant une place dans la structure S_M, on désigne une et une seule propriété déterminée de M. Or nous voyons deux manières de le garantir : soit, premièrement, en posant comme *un fait* à propos de ces propriétés, que chacune d'entre elle n'occupent qu'une place et une seule dans la structure, et que toute place dans la structure est occupée par une et une seule propriété ; soit, deuxièmement, en *identifiant* ontologiquement toute propriété déterminée de M à une place déterminée dans la structure S_M, c'est-à-dire en adoptant une théorie relationnelle des magnitudes de la grandeur M. Alors, que toute place de S_M est occupée par une seule propriété déterminée de M n'est pas un fait, postulé par la théorie de la grandeur M, mais une conséquence nécessaire de la nature relationnelle de ces propriétés.

Ni Swoyer ni Mundy n'ont en tête une théorie relationnelle des propriétés déterminées d'une grandeur M, qui les identifierait aux places elles-mêmes dans la structure S_M. Une telle théorie rejoindrait celle de Bigelow et Pargetter examinée dans le chapitre IV, et poserait alors tous les problèmes que nous avions soulevés. Surtout, dans le contexte précis de discussion de l'interprétation des axiomes existentiels de la mesure, une telle théorie relationnelle aurait une conséquence absurde. Tout l'intérêt de choisir une théorie SMP plutôt qu'une théorie QSE est précisément de nous éviter d'avoir à postuler l'existence *actuelle* des particuliers concrets qui seraient les sommes extravagantes ; or c'est précisément ce à quoi une théorie relationnelle finirait par nous contraindre.

Comme on l'a vu dans le chapitre IV, section 3.2.3., si une propriété de Masse déterminée est analysée comme un faisceau de relations (d'ordre et de sommation) à toutes les autres magnitudes déterminées de Masse, alors l'instanciation de cette propriété par un particulier massif est l'instanciation de *toutes* ces relations à *toutes* les autres magnitudes-propriétés. Si le particulier m_i possède la masse M_i, alors toutes les relations en quoi consiste cette masse M_i sont le cas. Or, si ces relations sont le cas, alors il faut que leur *relata* existent actuellement, donc il faut que toutes les autres magnitudes-propriétés soient instanciées. Autrement dit, si la théorie SMP était une théorie relationnelle des propriétés déterminées dans la structure S_M, alors elle contraindrait S_M à être entièrement instanciée par des particuliers concrets. Il faudrait par exemple affirmer l'existence de particuliers concrets correspondant à des sommes aberrantes, sous la forme d'états de choses comme « a étant M_j », avec a un particulier actuel et M_j une propriété de masse qui est « deux fois plus grande » que la propriété M_i instanciée par la totalité de l'univers. Ce serait accepter une conséquence qu'une théorie SMP était au contraire censée nous éviter.

Il faut donc que ce soit *un fait à propos de* ces magnitudes-propriétés qu'elles se tiennent dans les relations $<_m$ et $\circ_m$ de la façon décrite par la théorie de la quantité M. Cette théorie affirme d'elles qu'elles forment une structure S_M, non pas parce qu'elles ne consisteraient qu'en des faisceaux de relations composant la structure, mais parce qu'elles instancient les relations $<_m$ et $\circ_m$ qui sont d'un ordre supérieur. Eddon explique très bien que l'ambition de cette théorie est de conserver les avantages de la théorie monadique des magnitudes-propriétés, c'est-à-dire le fait qu'elles puissent n'être pas toutes instanciées, tout en sauvant leur aspect relationnel, qui fonde la possibilité de les représenter par une échelle numérique (Eddon, 2013). C'est très exactement ce que pensent Mundy et Swoyer, qui situent ainsi les magnitudes-propriétés et les relations à des ordres logiques distincts (Mundy, 1987, p. 35), (Swoyer, 1987, p. 262).

C'est donc cette version « étagée » que nous devons examiner et critiquer maintenant. Elle propose de formuler la théorie physique de la grandeur M dans un langage de second ordre, qui quantifie sur d'authentiques propriétés et relations que la théorie attribue aux objets représentés. Ces objets, les magnitudes de la grandeur M, sont conçus comme des propriétés déterminées, qui se trouvent être, de fait, dans les relations $<_m$ et $\circ_m$ de la façon décrite par les axiomes de Hölder. Le principal argument en

faveur de cette théorie est l'interprétation apparemment satisfaisante qu'elle donne des axiomes existentiels. Nous allons maintenant lui. opposer deux séries de critiques, qui visent à montrer qu'elle n'est en réalité pas une conception ontologique cohérente, et qu'il vaut mieux ne pas identifier les magnitudes d'une grandeur à des propriétés.

4. Critique de la théorie SMP.

Nous pensons qu'une telle théorie des quantités ne fournit pas le fondement adéquat pour l'objectivité de la mesure. Il est possible de faire d'abord porter la discussion sur un terrain purement ontologique, en s'inspirant des questions posées par Armstrong dans ses critiques adressées à la théorie relationnelle (section 4.1.). Ensuite, nous développerons une critique plus originale, qui porte sur la notion d'« instanciation partielle » d'une structure de propriétés. Tout l'intérêt de la théorie SMP est d'identifier une grandeur M avec une structure de propriétés qui ne sont pas toutes instanciées. Nous contesterons que le théoricien SMP puisse donner une définition claire de cette « instanciation partielle » tout en sauvegardant le rôle de sa théorie, qui est de garantir l'objectivité de nos mesures (section 4.2.). Enfin, nous exposerons l'interprétation des axiomes existentiels que notre théorie des quantités permet de donner. (section 4.3.).

4.1. Critiques purement ontologiques d'inspiration armstrongienne.

Admettons en effet que les propriétés déterminées de la grandeur M sont des propriétés monadiques, qui sont ce qui est mesuré et objectivement représenté par une échelle. Ces propriétés sont instanciées par les particuliers lorsqu'ils possèdent une masse déterminée. Mais ces propriétés instancient elles aussi des universaux d'un ordre supérieur, les relations $<_m$ et $\circ_m$ dans une structure extensive. Pour nos auteurs, ce fait structural concernant ces propriétés déterminées est ce qui les rend objectivement représentables par une échelle additive. Mais, demanderait Armstrong, les relations $<_m$ et $\circ_m$ sont-elles contingentes et externes à ces propriétés déterminées, ou bien sont-elles internes et découlent-elles nécessairement de *ce que sont* les propriétés reliées ?

Dans le second cas, il reste à expliquer comment l'on conçoit ces propriétés pour que ces relations soient internes $<_m$ et $\circ_m$. La piste la plus encourageante serait alors celle ouverte par Armstrong, qui considère ces propriétés comme ayant un caractère intrinsèquement quantitatif – c'est la thèse substantialiste sur les propriétés quantitatives que nous avons longuement examinée et repoussée dans le chapitre IV. Ne rouvrons pas ce dossier ici, dans la mesure ni Mundy ni Swoyer n'ont probablement cette piste en tête. Comme Armstrong le dit très bien, sa piste le conduit à dire que les propriétés déterminées d'une grandeur M ont ces relations $<_m$ et $\circ_m$ dans tous les mondes possibles, puisque ces relations surviennent nécessairement sur ce que sont ces *relata*. Autrement dit, la théorie physique

« rudimentaire » de la grandeur M serait, si elle était vraie, *nécessairement* vraie. Cela voudrait dire que par exemple la Masse est *nécessairement* une grandeur additive, ce qu'à notre sens peu de gens accepteraient aujourd'hui (pour une discussion de ce point modal, (Eddon, 2013)).

Il serait donc plus probable que Mundy et Swoyer vissent dans le fait que les propriétés déterminées soient dans ces relations et forment cette structure extensive, un fait contingent de *notre* monde. Nous serions alors dans le premier cas où ces relations $<_m$ et $\circ_m$ sont externes. Armstrong demanderait alors :

> Concentrons-nous d'abord sur une masse particulière, disons 1 kilogramme. En prenant les objets individuels qui font cette masse, ils forment donc une classe d'équivalence. Chaque individu de la classe aura la relation « avoir la même masse que » avec tout autre membre de cette classe, relation qui est symétrique et transitive. Mais on pourra alors naturellement demander pourquoi ces choses se regroupent si favorablement (*so conveniently*) par elles-mêmes ? Il existe une réponse évidente à cette question. C'est que chaque individu instancie le même universel monadique. La symétrie et la transitivité dériveront alors de l'identité, et surviendront sur elle[79]. Mais cette réponse n'est pas possible, si la relation « avoir la même masse que » est externe. (Armstrong, 1988, p. 308)

On reconnaît la deuxième critique qu'Armstrong adressait à Bigelow et Pargetter, qui nous semblait passer à côté du cœur de leur théorie relationnelle. Mais cette critique touche maintenant le point le plus sensible des théories de Mundy et Swoyer : si $<_m$ et $\circ_m$ sont de deuxième ordre et externes, et instanciées par les propriétés de premier ordre pour former un vaste fait structurel décrit par la théorie de M, alors comment rendre compte du fait que ces relations de second ordre valent aussi entre les objets individuels qui instancient les propriétés de premier ordre ? Par exemple, cette voiture instancie la masse M_1 et ce sac de farine la masse M_2, et la théorie de la Masse nous dit que $M_1 >_m M_2$. Ajoutons également que m_2 est précisément égale à 1 kg, et que la voiture fait 1500 kg. On a donc M_2= 1500 M_1. D'où vient qu'en vertu de ces deux faits relationnels concernant les propriétés M_1 et M_2, on a que la voiture est plus massive que le sac de farine, et qu'elle est « même mille cinq cent fois plus massive que » lui ? D'après Armstrong, si les relations $<_m$ et $\circ_m$ entre m_1 et m_2 sont externes, alors on est incapable de fonder ces faits concernant les objets individuels massifs.

On peut ajouter à ce problème une seconde critique. Si les relations $<_m$ et $\circ_m$ entre les propriétés déterminées sont externes, alors la référence que l'on croit y faire en décrivant leur place dans la structure de relation $<_m$ et $\circ_m$ ne semble plus fixée. Si être une masse de 5kg, ce n'est pas essentiellement être en relation de masse avec toutes les autres places dans la structure représentée par l'échelle, et qu'on

[79] On reconnaît dans cette phrase une version ontologique du « Principe d'Abstraction » de Russell, dont nous avons parlé dans le chapitre V (section 3.3.2.), et selon lequel une relation symétrique et transitive entre des termes est toujours analysable comme la possession d'une même propriété (ou relation) par chacun de ces termes.

peut être une masse de 5kg sans entrer par exemple en relation $°_m$ avec la propriété d'être une masse de 1kg, alors cela pose un problème : les énoncés théoriques décrivant les relations structurelles entre les propriétés de masse ne peuvent être vrais que de façon contingente. Or, cela a une grave conséquence : Swoyer et Mundy perdent leur unique moyen pour fixer la référence de leurs termes théoriques. Si les propriétés de masse sont des individus de deuxième ordre qui n'occupent leurs places dans la structure de magnitudes que de manière contingente, alors on ne se réfère rigidement qu'aux places de la structure (par description définie relationnelle), mais pas aux propriétés qui les occupent. Le succès de la référence aux bonnes propriétés serait parfaitement contingent : il est contingent que ce soit m_2 qui soit bien désignée par « la propriété qui est 1500 fois plus massive que m_1 », ce qui introduit un hasard intolérable dans la référence.

Il n'est pas certain que cette critique soit décisive, dans la mesure où l'on peut très bien se référer avec succès à un individu en en donnant une description définie, sans que cette description en donne des caractéristiques essentielles. En revanche, il est clair que dans le cadre de Swoyer et Mundy, les propriétés déterminées de masse ne *sont pas identifiées* à des faisceaux de relations structurales, mais ne font qu'occuper de façon contingente les places de la structure relationnelle décrite par la théorie de la quantité M. Ils doivent alors nécessairement faire deux présuppositions : premièrement, que deux propriétés déterminées différentes, M_i et M_j, ne peuvent pas occuper la même place dans la structure S_M, et deuxièmement que deux places différentes de cette structure sont occupées par deux propriétés déterminées différentes. Le premier fait revient à dire qu'entre les propriétés déterminées, la relation « être de même masse que » équivaut à une relation d'identité stricte. Ces deux présuppositions conditionnent simplement le fait que l'ensemble des propriétés déterminées instancient bien les rapports structuraux décrit par la théorie de la quantité M. Rappelons-nous de ces faits, qui seront décisifs dans notre critique de la théorie SMP. Nous allons formuler une autre critique qui pose peut-être, au fond, le même problème que celle d'Armstrong, mais l'envisage du point de vue de l'objectivité de la mesure.

4.2.Notre critique de la théorie SMP.

Mundy et Swoyer contournent d'ailleurs avec beaucoup de liberté les questions purement ontologiques, en expliquant que pour connecter la théorie aux particuliers rencontrés dans les opérations concrètes de mesure, il suffit d'ajouter au vocabulaire théorique de la théorie de la quantité M un vocabulaire observationnel. Ce niveau purement observationnel contient des termes d'individus (les particuliers empiriques) et deux prédicats $<'_m$ et $°'_m$ définis opératoirement, qui désignent les opérations concrètes de comparaison et de concaténation. Ce sont les opérations qui interprètent physiquement les relations théoriques de second ordre $<_m$ et $°_m$ de la théorie. Dans ce vocabulaire observationnel peuvent être formulés les prédictions empiriques de la théorie. Ces prédictions sont précisément celles qu'Armstrong les mettrait au défi de retrouver, comme « pour tout objet individuel x et y, alors $x <'_m y$

ou $y <'_m x$ », c'est-à-dire les axiomes de la mesures compris comme des lois empiriques gouvernant les rapports entre les particuliers. Une exception doit être réservée pour les axiomes existentiels, nous allons y venir.

Pour que ces lois empiriques puissent être dérivés des axiomes théoriques formulés dans le vocabulaire des propriétés et relations de second ordre, il faut postuler une loi-pont connectant les deux niveaux – c'est certainement le postulat le plus fort et le plus contestable de la théorie de Mundy. Une telle loi, contenant un vocabulaire mixte théorique et observationnel, permet de dire que deux objets individuels *x* et *y* se tiennent dans la relation $<'_m$ ou $°'_m$ si et seulement si *x* instancie la propriété déterminée X, et *y* la propriété déterminée Y, et X et Y se tiennent dans la relation $<_m$ (ou $°_m$). Si l'on admet la légitimité de ce postulat dans une théorie physique de M, alors l'objection d'Armstrong est *ipso facto* contournée, puisqu'une telle loi-pont fonde bien les faits relationnels concernant les particuliers empiriques sur les faits relationnels concernant les propriétés qu'ils instancient (Mundy, 1987, p. 43).

Voici la critique que nous allons formuler. Pour que la théorie SMP de Mundy-Swoyer fournisse un fondement adéquat à l'objectivité de nos mesures, il ne suffit pas que les magnitudes, analysées comme des propriétés, instancient une certaine structure relationnelle déterminée (S_M décrite par la théorie de M). Il faut en outre que cette structure puisse être *partiellement instanciée* par des systèmes physiques finis, d'objets particuliers. C'est précisément cette instanciation partielle de la structure S_M qu'est censée permettre la loi-pont. Or il nous semble que la notion d'« instanciation partielle » est mal définie et recouvre en réalité un tour de passe-passe ontologique qu'on ne peut pas accepter. Pour le montrer, commençons par déterminer précisément ce qui se passerait *sans* cette « instanciation partielle », avant de montrer en quoi elle n'est pas un rapport d'instanciation bien défini.

4.2.1. Une nouvelle défaite de la particularité.

Que se passerait-il sans ce rapport d'instanciation partielle ? Si on considère que notre échelle de mesure de la Masse représente une structure de propriétés déterminées de masse, alors rien de varie d'une situation physique concrète à une autre : dans tous les cas, une même échelle représente une même structure de propriétés. Il serait alors impossible de rendre compte de la distinction et diversité des différents systèmes physiques auxquels on applique objectivement l'échelle. Autrement dit, devant chaque système physique particulier que l'on rencontre ou construit dans les opérations concrètes de mesure, on serait incapables de lui *appliquer* l'échelle de mesure, mais on ne pourrait que dire : « L'échelle de mesure de la masse représente *ici* la structure des propriétés déterminées de masse ».

On se souvient de ce que nous avons appelé dans le chapitre I « la défaite de la particularité », qui désignait l'échec à concevoir ontologiquement l'instanciation d'une propriété dans divers particuliers. N'étant pas particularisée, une propriété serait identiquement présente, en personne, dans

chacune des situations rencontrées. Le risque est le même dans le rapport entre une structure de propriétés et les différents systèmes physiques, d'assister à un tel « ratage de l'instanciation ». Le rôle de la propriété est joué par la grandeur physique déterminable, analysée comme une structure relationnelle de propriétés déterminées ; et le rôle des divers particuliers est joué par les différents systèmes d'objets physiques. Le problème est tout simplement que nous n'avons aucun ressort pour dire autre chose, devant toute situation d'objets physiques massifs : « voilà la structure S_M des propriétés déterminées, représentée par l'échelle ».

Soient en effet deux particuliers concrets m_i et m_j, qui instancient les propriétés déterminées de masse M_i et M_j. Il se trouve également que ces deux propriétés de masse sont dans la relation r_{m5} « être cinq fois plus massif que », avec par exemple M_j « être une masse de 5kg » et M_i « être une masse de 1 kg ». En vertu de quoi m_j qui possède la propriété M_j est-il « cinq fois plus massif que » m_i qui possède la propriété M_i ? C'est exactement cela que l'on recherche, en faisant du système d'objets (m_i,m_j) une instanciation partielle de la structure S_M : ils instancient les relations de masse de S_M, qui sont objectivement représentées par notre échelle de mesure. On pourra alors, par exemple, attribuer le nombre « 1 » de notre échelle à m_i et mesurer objectivement m_j comme ayant une masse qui mesure « 5 m_i » dans cette échelle. Ce que l'on cherche donc, c'est à voir dans la paire de particuliers concrets (m_i,m_j) une instanciation de la relation r_{m5}, et donc une paire qui occupe une portion déterminée de la structure de relations S_M. Mais qu'est-ce qui nous autorise à voir dans la paire de faits particuliers que m_i possède M_i et que m_j possède M_j un cas particulier de r_{m5} ?

Le problème que rencontre la théorie des magnitudes-propriétés est une version plus élaborée du problème déjà rencontré par la théorie des universaux et états de choses au premier chapitre de ce travail. Les faits particuliers « m_i possédant M_i » et « m_j possédant M_j » ne sont pas une paire qui est un cas particulier de r_{m5}, parce que r_{m5} n'est pas instanciée par des particuliers concrets, mais par des masses déterminées. r_{m5} est instanciée par les *propriétés* déterminées de masse M_i et M_j, et par toutes paires de *propriétés* déterminées dont l'une est « cinq fois plus grande que » l'autre, mais non par des paires de *particuliers* concrets.

On le vérifie simplement en considérant deux paires de concrets (m_{i1},m_{j1}) et (m_{i2},m_{j2}), avec m_{i1} et m_{i2} des concrets qui instancient M_i, et m_{j1} et m_{j2} des concrets qui instancient M_j. En vertu de quoi ces deux paires tombent « si favorablement » (Armstrong) dans l'extension de la même relation de masse r_{m5} ? En raison, dirait-on, du fait que m_{i1} et m_{i2} sont deux instances de *la même* propriété M_i et m_{j1} et m_{j2} deux instances de *la même* propriété M_j, et que M_j est r_{m5} M_i. Mais dans ce cas, on s'aperçoit bien que r_{m5} n'est pas instanciée par les *deux* paires de particuliers concrets, mais par *l'unique* paire de propriétés (M_i,M_j) qui sont les masses déterminées. A travers les deux paires, comme M_i et M_j dont des propriétés, elles ne sont chacune non pas *deux* mais *unes* à travers leurs différentes instances. Donc la relation r_{m5}, qui est vraie de la paire (M_i,M_j), n'est instanciée qu'une fois, et par absolument rien qui soit particulier. Nous reconnaissons ici le symptôme de défaite de la particularité : dans la mesure où la structure S_M (ici

la relation r_{m5}) n'est instanciée que par les propriétés M_i et M_j, et non par des particuliers massifs concrets, nous échouons à *appliquer* les relations de cette structure à des particuliers. Plus spécifiquement, nous n'avons aucun moyen de dire que les relations construites par nos opérations de mesures entre ces concrets sont partiellement et adéquatement représentées par notre échelle de mesure. Tout ce que nous pouvons dire devant les systèmes physiques concrets (m_{i1},m_{j1}) et (m_{i2},m_{j2}), c'est dans les deux cas *strictement la même chose* : « $r_{m5}(M_i,M_j)$ ». C'est à dire que nous répétons devant chacun d'eux un fait structurel concernant les propriétés M_i et M_j, correspondant à une portion de la structure S_M, mais ne disons jamais rien *de* ces deux systèmes physiques particuliers. Nous avons une portion de la structure, mais elle n'est pas instanciée par les systèmes particuliers et distincts (m_{i1},m_{j1}) et (m_{i2},m_{j2}).

4.2.2. Un SRM construit sur des particuliers concrets n'est pas une portion de S_M.

Pour appliquer l'échelle aux particuliers d'un système physique empirique, il faut que la structure S_M soit particularisée et instanciée par ce système. Aussi faut-il que cette instanciation ne soit que « partielle », précisément pour n'avoir pas à postuler les sommes extravagantes que la théorie SMP cherche précisément à éviter. En effet si la structure S_M était intégralement instanciée, alors le passage à une théorie des magnitudes-propriétés serait inutile, puisque toute magnitude-propriété étant alors instanciée, nous devrions postuler qu'il existe un particulier massif qui instancie une magnitude de masse aussi grande qu'on voudra. Demandons-nous alors ce que signifie ontologiquement de considérer qu'un système d'objets physiques particuliers est l'instanciation partielle d'une structure de propriété.

4.2.2.1. Instanciation partielle d'une classe de propriétés, instanciation partielle d'une structure.

Il faut d'abord faire une nette différence entre l'« instanciation partielle » de l'ensemble des propriétés déterminées de masse M_i, et « l'instanciation partielle » de la structure S_M de ces propriétés. C'est sur cette différence que tourne notre argument.

Nous parlerons d'instanciation partielle de l'ensemble des $\{M_i\}$ lorsque des particuliers concrets massifs instancient une partie de ces propriétés. D'après Swoyer-Mundy, c'est actuellement le cas dans le monde, que toutes les propriétés M_i ne sont pas instanciées, et qu'il y a des masses déterminées que ne possède aucun particulier concret.

Ensuite, supposons qu'on ait construit entre ces particuliers les relations opératoires $<_m$ et $\circ_m$, de telle sorte qu'on obtient, après ces opérations de mesure, un système relationnel de particuliers physiques O_m. On dit alors que O_m instancie partiellement la structure S_M lorsqu'il occupe une portion de la structure S_M. Le système O_m d'objets particuliers massifs m_1, m_2, m_n, occupe une portion de la structure S_M lorsque chaque particulier m_i instancie une propriété de masse M_i et que pour toute paire de particuliers (m_i,m_j), si M_i et M_j sont dans la relation r_{mij}, alors m_i et m_j sont aussi dans la relation r_{mij}.

Il y a donc une grande différence entre le fait que les particuliers m_1, m_2, m_n de O_m instancient une partie de l'ensemble $\{M_i\}$, et le fait que O_m instancie ou occupe une partie de la structure S_M des $\{M_i\}$. Pour que la théorie SMP de Swoyer-Mundy soit capable de fournir un fondement adéquat à l'application objective de nos échelles de mesure, elle doit justifier une inférence qui relie ces deux faits : si les particuliers m_1, m_2, m_n de O_m instancient une partie des $\{M_i\}$, alors O_m occupe une portion de la structure S_M des $\{M_i\}$. C'est bien cette instanciation partielle de la structure de propriétés que la loi-pont de Mundy est censée décrire. Or, nous allons montrer que ce rapport d'instanciation partielle entre des systèmes d'objets concrets et des portions de S_M est très mal défini.

4.2.2.2. Deux modes distincts de diversité.

Le problème vient du fait que nous avons deux ensembles d'instances qui sont totalement distincts, et n'exhibent pas les mêmes variations : d'un côté, les n-uplets d'instances des propriétés déterminées $\{M_i\}$, et de l'autre, l'ensemble des portions de la structure S_M, qui sont des instanciations différentes des relations structurelles r_{mij}. Examinons-les tour à tour.

Les propriétés déterminées $\{M_i\}$ sont instanciées diversement par des particuliers concrets au moins numériquement distincts. Par exemple, ce sac de farine instancie M_i, cette pierre calcaire instancie M_j. Mais les magnitudes M_i et M_j sont des propriétés, et sont donc répétables. On peut supposer qu'il existe un autre particulier, par exemple un sac de farine de sarrasin qui instancie aussi M_i, et une pierre de granit qui instancie aussi M_j. Nous avons alors, dans cet exemple, deux systèmes d'objets physiques, qui sont deux paires d'instanciations de M_i et M_j : (m_{i1},m_{j1}) et (m_{i2},m_{j2}). Les propriétés M_i et M_j sont diversement instanciées par des particuliers concrets, selon ce que nous appelions dans le chapitre II une diversité externe.

De l'autre côté, au sein de la structure S_M, les relations r_{mij} sont diversement instanciées, mais ne sont pas diverses de la même façon. Les r_{mij} sont instanciées diversement par des paires de *propriétés différentes*. Donc si deux paires sont *deux* instances différentes de la même relation structurelle r_{mij}, c'est qu'elles sont deux paires de propriétés déterminées différentes. Cela se comprend très bien en se rappelant que S_M est constituée par l'ensemble des places qui sont déterminées comme des faisceaux de relations r_{mij}. Or, d'après les présuppositions que doit faire le tenant de SMP, il faut que deux propriétés différentes n'instancient pas la même place dans la structure, et que deux places différentes soient occupées par deux propriétés déterminées différentes (*cf* fin de la section 3.2.4.). Par conséquent, même si les propriétés déterminées *ne sont pas identifiées à* ces faisceaux de relations, leur diversité est parfaitement engendrée et décrite par ces relations. Les instances des relations structurelles r_{mij} sont donc dans une situation de diversité non plus externe, mais interne. Nous appelons « portion P_{ij} d'une structure S_M » l'ensemble des places P_i et P_j de cette structure, occupées par les propriétés M_i et M_j, et déterminées par leurs relations à toutes les autres places de la structure.

Or, à notre avis, cette différence entre les deux modes de diversité (entre les objets concrets qui instancient les propriétés M_i et M_j, et les propriétés M_i, M_j en tant qu'instances des relations structurales r_{mij}) pose un gros problème pour concevoir l'instanciation partielle de S_M par des systèmes d'objets physiques particuliers O_m. Elle rend en particulier très ambiguë l'expression « occuper une place (ou une portion) de S_M », appliquée non plus aux magnitudes-propriétés M_i, mais aux particuliers concrets m_i.

4.2.2.3. L'ambiguïté de « occuper une place d'une structure ».

Un m_i n'occupe pas une place P_i de la structure S_M comme l'occupe la propriété M_i, c'est-à-dire à la fois (1) en instanciant toutes les relations structurelles r_{mij}, et (2) en étant identique (strictement) à toute autre entité qui occupe la même place.

En effet, tout le but de l'instanciation partielle de S_M est de ne pas contraindre S_M à être entièrement instanciée, et donc tout particulier massif à instancier *toutes* les relations de S_M. Un particulier doit pouvoir n'instancier que les relations structurelles avec les particuliers concrets existants, qui n'instancient pas toutes les propriétés M_i, ce qui contredit (1). Et on doit admettre aussi que deux concrets numériquement distincts peuvent occuper la même place, puisqu'ils peuvent instancier la même propriété déterminée de masse, parce par définition, les M_i sont des propriétés et donc répétables. Ce qui contredit (2). Or une fois cette précision faite, on ne peut pas légitimement dire que m_i « occupe la place P_i de la structure S_M ». Montrons en effet qu'alors, soit on ne peut pas dire précisément quelle place de S_M est occupée par m_i, soit on fait retour à la théorie monadique des propriétés à la Armstrong. Mais dans les deux cas, la théorie SMP est gravement mise en difficulté.

L'occupation d'une place P_i de S_M n'est pas déterminée si toutes les relations structurelles ne sont pas le cas.

En effet, les places P_i, P_j de la structure S_M n'ont aucune caractéristique intrinsèque, mais ne consistent qu'en des faisceaux distincts de relations structurelles r_{mij}. Par conséquent, deux places P_i et P_j ne sont identiques ou distinctes que par leurs relations à toutes les autres places de S_M. Donc la seule façon de déterminer si deux systèmes particuliers et distincts O_{m1} et O_{m2} instancient la même portion ou bien deux portions différentes de S_M, c'est par leurs relations à toutes les autres portions de la structure.

Or cela suppose que toute la structure soit instanciée, ce qui évidemment rendrait totalement vain le détour par les magnitudes-propriétés opéré par la théorie SMP. En effet, m_{i1} et m_{j1} sont dans la relation « 5 fois plus massif que », comme m_{i2} et m_{j2}. Mais cela n'est pas suffisant pour qu'on ait le droit de dire que ces deux systèmes instancient la même portion de S_M, puisque toute place dans S_M a la relation « 5 fois plus massif que » à une autre place de S_M.

Pour que O_{m1} et O_{m2} occupent la même portion, il faut en plus que m_{i1} et m_{i2} occupent la même place (et donc m_{j1} et m_{j2} occupent aussi la même place). Mais une place n'est déterminée que par l'ensemble de ses relations r_{mk} à toutes les autres places, dans la structure, et donc posséder une place déterminée dans la structure S_M, c'est entrer dans toutes les relations qui déterminent cette place. Pour que deux particuliers puissent être dits occuper la même place, il faut donc qu'ils instancient l'ensemble des relations r_{mk} à toutes les autres instances des autres propriétés M_k, ce qui revient à dire que la structure S_M doit être entièrement instanciée. Or par hypothèse le particulier ne peut pas entrer dans toutes ces relations en vertu seulement du fait qu'il possède M_i, puisque pour cela toutes les autres propriétés doivent être instanciées, ce qu'on refuse.

Ce qu'on voudrait, c'est que le particulier m_i possède la place P_i de M_i sans avoir toutes les relations caractéristiques de cette place, mais seulement celles qui relient cette place avec les places occupées par les propriétés M_j *instanciées* par des m_j, et à l'exclusion des relations qui lient cette place avec des places des M_k *non instanciées*. Mais sans ces relations, la place P_i n'est pas suffisamment déterminée, et on ne peut pas dire que m_i occupe une place déterminée de la structure S_M. En particulier, cela implique par exemple que toutes les masses instanciées pourraient doubler pendant la nuit, sans qu'on puisse dire si elles ont changé de places dans la structure S_M.

« Occuper une place P_i » comme propriété intrinsèque.

Mais, nous objectera-t-on, entrer dans toutes les relations structurelles n'est pas du tout une condition nécessaire pour occuper une place déterminée dans la structure, puisqu'il suffit que les particuliers m_{i1} et m_{i2} instancient la même propriété M_i, pour occuper la même place dans la structure. Et donc les deux systèmes O_{m1} et O_{m2} occuperaient la même portion de S_M en vertu seulement du fait qu'ils sont deux instanciations de la même paire de propriétés (M_i, M_j) qui occupe une unique portion de S_M.

Mais en disant cela, l'« occupation d'une place P_i » ne signifie plus, comme pour la propriété déterminée M_i, l'instanciation d'un ensemble de relations, mais plutôt la possession d'une propriété intrinsèque ou une caractéristique non-relationnelle du particulier qui « occupe P_i ». En effet, m_i occupe cette place en vertu seulement du fait qu'il instancie la propriété M_i, et les faits relationnels et structurels (partiels ou totaux), comme le fait d'entrer dans la relation « être 5 fois plus massif que », surviennent nécessairement sur *ce que sont* les particuliers massifs, comme instances des propriétés monadiques M_i, M_j, etc. C'est en vertu seulement du fait qu'il instancie la propriété M_i, qu'un particulier massif m_i peut entrer dans cette relation avec un particulier m_j, si m_j existe et instancie M_j. L'occupation d'une place déterminée de S_M serait donc une caractéristique intrinsèque et non fondamentalement relationnelle.

Si c'était cela que signifiait la théorie SMP, alors elle serait grandement affaiblie, parce qu'il lui faudrait justifier *a priori* ce rapport de survenance du fait d'occuper une place déterminée dans la structure sur le fait de posséder une propriété déterminée de masse. C'est par exemple ce que proposait

de faire Armstrong, dans sa propre théorie des déterminations quantitatives intrinsèques, que nous avons critiquée au chapitre IV. Il faudrait en tout cas que le tenant de SMP explique comment il conçoit la structure interne de M_i pour qu'elle occupe cette place de la structure plutôt que cette autre. Or, c'est manifestement ce que voulaient éviter Swoyer, et surtout Mundy, pour qui la théorie de la grandeur M était une théorie physique, qui *postule* les relations $<_m$ et $\circ_m$ entre les propriétés M_i, et les confirment empiriquement par le succès des opérations de mesure extensive. Loin d'eux l'idée que cette théorie énoncerait des vérités nécessaires sur les propriétés M_i. Pourtant on serait reconduit à cette idée, si l'on admettait que des particuliers instancient partiellement la structure S_M en vertu des seules propriétés M_i instanciées.

Résumé du problème posé par la théorie SMP.

Ainsi, le détour par une structure de *propriétés* (plutôt que de particuliers actuels) pour dire ce qui est objectivement représenté par l'échelle métrique n'est utile et sensé que si on parvient à définir l'instanciation partielle de cette structure de propriétés par des particuliers actuels. Or nous montrons que si un particulier doit instancier une place déterminée dans cette structure, alors il faut soit admettre son instanciation totale, ce qui rend la théorie inutile, soit faire de l'occupation d'une place déterminée une caractéristique intrinsèque et non-relationnelle, ce qui change profondément la nature de la théorie SMP. Elle n'est plus un savant équilibre entre les caractéristiques intrinsèques et relationnelles des quantités, mais tombe entièrement du premier côté, et apparaît comme une théorie des déterminations intrinsèques, ce qui est contraire à l'objectif affiché.

Il n'y a donc, à notre sens, pas de milieu possible entre une théorie entièrement relationnelle et une théorie entièrement intrinsèque des déterminations quantitatives, et nous avons déjà expliqué notre choix pour la première. Dans ce cas, puisqu'une détermination quantitative n'est déterminée que par l'ensemble de ses relations à toutes les autres déterminations quantitatives au sein d'une même structure, le détour par des propriétés est totalement vain, puisqu'on devra toutes les postuler instanciées. Nous pensons donc raisonnable d'en rester à une théorie QSE des déterminations quantitatives conçues comme des particuliers abstraits (des tropes) *relationnellement* déterminés. Nous devons, pour finir, expliquer en quoi cette théorie permet d'interpréter les axiomes existentiels d'une façon acceptable.

4.3.Notre interprétation des axiomes existentiels.

La théorie de la Structure de Magnitudes-Propriétés (SMP) ne nous semble pas proposer la bonne ontologie pour fonder l'objectivité de la représentation métrique, parce que la répétabilité à l'identique des portions de la structure S_M pose problème. Nous devons donc trouver un moyen de conserver les avantages de la théorie SMP, en particulier dans l'interprétation *modale* des axiomes

existentiels de la mesure, sans postuler comme éléments de la structure S_M des entités répétables, c'est-à-dire des propriétés.

Nous allons reprendre et défendre à nouveau une théorie QSE non-nominaliste de la quantité, selon laquelle ce qui est objectivement représenté par une échelle de mesure est une structure de *particuliers actuels abstraits*. Dans ce paragraphe, nous allons seulement montrer en quoi une telle théorie permet de donner une interprétation satisfaisante des axiomes existentiels de la théorie de la mesure, et ne demande pas d'admettre l'existence actuelle de masses concrètes arbitrairement grandes (ou petites).

4.3.1. Rappel de la théorie des Quantités comme Structures de particuliers Empiriques (QSE).

La question est de savoir si, pour des places dans l'échelle dont il paraît peu raisonnable de dire qu'elles représentent des particuliers concrets, il faut tout de même affirmer l'existence actuelle d'« objets » qu'elles représentent, ou bien considérer qu'elles ne signifient que des mesures possibles : c'est-à-dire qu'il existe un particulier concret possible qui, s'il était actuel, correspondrait à cette mesure. D'une manière ou d'une autre, il faut trouver une interprétation ontologique de ces axiomes existentiels qui permet de ne pas les tenir pour littéralement faux, ce qui aurait pour conséquence de faire s'écrouler tout l'édifice de la théorie de la mesure (pour les grandeurs additives).

Dans la théorie défendue, toutes les déterminations métriques, c'est-à-dire les différentes places de la structure, correspondent à des objets actuels, qui ne sont pas des propriétés mais des particuliers. Une quantité, comme la Masse, consiste dans la classe structurée des particuliers massifs. Mais ces particuliers sont conçus comme des *abstracta* : ils ne consistent qu'en les places déterminées différentes de la structure, c'est-à-dire *ne sont que* des faisceaux de toutes les relations r_m. Par conséquent, ils varient entre eux exactement comme les places différentes de la structure, à savoir (1) qu'il n'existe qu'un particulier pour une détermination structurelle : si deux particuliers occupent la même place dans la structure, « ont la même masse », c'est qu'ils sont un seul et même particulier, et donc deux particuliers massifs distincts *sont* nécessairement deux masses déterminées distinctes, c'est-à-dire deux places différentes dans la structure ; et (2) toutes les places de la structure sont des particuliers existants, puisque tout particulier massif existant n'étant que le faisceau de toutes les r_m, nécessairement s'il existe tous les autres particuliers massifs existent aussi. D'après la théorie QSE que nous défendons, une échelle numérique représente objectivement une classe structurée de particuliers abstraits, qui ne sont que des déterminations relationnelles différentes de la grandeur.

Mais dans ce cas, nous sommes conduits à soutenir une thèse de Réalisation de toutes les Possibilités Physiques (RPP) : nous devons admettre que toutes les déterminations d'une grandeur qui sont physiquement possibles sont des particuliers existants. Comment cette théorie ne tombe-t-elle pas

dans le piège d'admettre des sommes extravagantes, comme l'existence d'un particulier qui serait par exemple deux fois plus massif que l'univers entier ?

4.3.2. Une analyse actualiste des modalités.

Pour résoudre ce problème, nous donner une interprétation modale des axiomes existentiels sans avoir recours à des modalités *de re*, ni à des universaux non-instanciés. Le problème est essentiellement le même que celui posé, dans l'analyse des lois de la nature, par les cas physiquement possibles, enveloppés dans une loi, mais considérés comme non réalisés. Comme le signale Swoyer :

> Le problème général ici n'est pas propre à la mesure. Il y a des énoncés nomologiques vides de référence – des lois qui n'impliquent que des propriétés nulle part exemplifiées, par exemple la propriété d'être un corps qui ne subit l'action d'aucune force – qui n'en sont pas moins tenus pour vrais, et il est assez naturelle de se dire qu'ils impliquent des propriétés non-exemplifiées. Et en effet, les énoncés portant sur les sommes de propriétés qui ne sont pas exemplifiées ne sont qu'une espèce de loi vide de référence (*vacuous law*). Il y a deux stratégies pour résoudre ce problème. L'une consiste à défendre l'existence de propriétés et relations qui ne sont pas exemplifiées. (Swoyer, 1987, p. 268)

Dans le cas des lois, il s'agit de donner le fondement ontologique (de la vérité) d'énoncés contrefactuels comme « si un corps ne subissait l'action d'aucune force, alors il continuerait dans un mouvement rectiligne uniforme », alors même qu'il n'y a peut-être aucun corps dans l'univers qui soit parfaitement dans cette situation inertielle. Dans le cas de la mesure, la représentativité objective d'une échelle implique des énoncés portant sur des mesures possibles : « si on mesurait un particulier en lui attribuant la place P_i, alors il devrait être dans les relations r_{mk} avec les autres particuliers mesurés ». Il s'agit d'expliquer en quoi consistent des mesures possibles, et sur quoi se fonde la vérité de ce type d'énoncés contrefactuels portant sur elles.

Nous ferons, dans le cas de la mesure, essentiellement la même réponse que dans le cas des cas physiques non réalisés dans les lois de la nature (*cf* chapitre VII). Nous disons que cette vérité se fonde sur l'existence de particuliers *actuels mais non-concrets*.

Contre le réalisme des magnitudes-propriétés, nous pensons que c'est une structure de *particuliers* actuels (et non de propriétés actuelles), qui est objectivement représentée par l'échelle. Mais contre la lecture nominaliste de ces axiomes, nous pensons qu'on peut ontologiquement sauver la distinction entre les sommes que l'on peut concrètement mesurer (comme la masse de cette table ou de cette planète) et les sommes non concrètement réalisées (comme deux fois la masse de l'univers), sans avoir recours pour cela à une ontologie des magnitudes-propriétés.

Pour cela, il faut nous appuyer sur la distinction, introduite au précédent chapitre, entre *réalisation physique* et *réalisation concrète* d'une détermination quantitative. Les objets mesurés sont des magnitudes qui ne sont pas identifiées à des propriétés, mais à des particuliers abstraits. Au sens strict, un particulier abstrait est absolument actuel, puisque c'est un particulier et donc une *existence* distincte numériquement des autres. Nous n'admettons pas de particuliers possibles. Mais il y a un sens à donner à la différence modale entre des particuliers actuels et des particuliers possibles, en la réduisant à une différence entre deux types de particuliers abstraits actuels. Définissons alors un second concept d'actualité, distinct et aussi plus restreint que le premier ; appelons « ET-actuel » un particulier abstrait qui est spatio-temporellement actuel, c'est-à-dire qui non seulement est actuel au sens strict, mais aussi compréseent avec au moins un trope d'espace-temps (ET). Ce que nous soutenons donc, c'est que toutes les déterminations quantitatives d'une grandeur correspondant à une propriété quantitative déterminable sont des particuliers actuels, mais que toutes ne sont pas des particuliers ET-actuels. Elles sont toutes physiquement réalisées, mais ne le sont pas toutes concrètement, c'est-à-dire dans des particuliers concrets, présents dans l'espace-temps.

Si l'on applique cette distinction au cas de la masse, cela signifie que toute les masses qu'un empiriste-nominaliste serait prêt à admettre comme des individus existants, ou qu'un tenant de la théorie SMP tiendrait pour des propriétés instanciées, sont pour nous des particuliers abstraits ET-actuels. Par exemple, la masse de 3 kg est un particulier abstrait, mais aussi ET-actuel, puisqu'il est compréseent avec au moins un trope d'espace-temps, comme les coordonnées de ce sac de farine dont les opérations de mesure disent qu'il pèse 3 kg. D'autres objets concrets peuvent peser 3kg, ce qui signifie seulement que le particulier abstrait « la masse de 3kg » est compréseent aussi avec d'autres tropes d'espace-temps. En revanche, la masse particulière qui a la relation « deux fois plus massif que » la masse particulière de l'univers entier est actuelle, mais elle n'est pas ET-actuel, puisqu'elle n'apparaît dans aucun objet concret de l'espace-temps.

On peut ainsi retrouver le sens modal de la distinction entre les cas physiques réalisés et les cas « seulement possible », bien que nous n'admettions aucun pur *possibilium*, ni aucune propriété non-instanciée. Cette distinction modale est interprétée comme la différence entre les cas *concrètement* réalisés (dont on peut attribuer la mesure à au moins un objet concret) et les déterminations quantitatives qui sont des cas actuels, physiquement mais non concrètement réalisés. La masse qui fait deux fois celle de l'univers est donc actuelle mais non-concrète car aucun objet concret et spatio-temporel n'existe qui, en étant mesuré, se verrait attribuer cette détermination quantitative. Mais elle est un particulier abstrait qui, au sens strict, est actuel et physiquement réalisé, mais n'est compréseent avec aucun trope d'espace-temps (mais peut l'être sans contrevenir à aucune loi de la nature ; *cf* chapitre VII section 3.2.2.). Cette existence actuelle est le fondement de la vérité de l'énoncé contrefactuel : « si un objet concret existait, qui avait cette masse, alors il entrerait dans telles relations de masses avec tous les autres concrets massifs ».

4.3.3. La thèse de la magnitude-étalon.

Il faut maintenant ramasser les résultats principaux de ce chapitre, avant d'offrir une conclusion générale des deux chapitres sur la mesure.

Dans ce chapitre VI, nous avons étudié les conditions d'objectivité métrique à partir de l'approche représentationnelle, pour se demander comment l'on pouvait tenir une structure de nombres pour effectivement représentative d'un domaine d'objets mesurés. Dans la première partie du chapitre (sections 1. et 2.), nous avons tiré les bénéfices des approches formelles les plus récentes, appuyées sur la théorie mathématique de la représentation, pour comprendre qu'une structure numérique représentait adéquatement un domaine d'objet si un modèle relationnel est vrai de ce domaine, qui le décrit comme une structure formée par les relations $<_m$ et $\circ_m$ (pour les échelles additives). Nous avons dû compléter ces résultats par les propositions de Campbell, pour arriver à la condition de constructibilité des échelles de mesure : une échelle, pour représenter effectivement un domaine d'objets physiques, doit pouvoir être identifiée à un SRM constructible.

Dans la seconde partie de ce chapitre (sections 3. et 4.), nous sommes partis du lien entre la modalité présente dans le terme « constructible » et le choix conventionnel d'une unité de mesure, c'est-à-dire d'une mise en correspondance entre les nombres de la structure et les objets du domaine représenté par elle. L'enjeu principal s'est avéré être celui de l'interprétation ontologique à donner des axiomes existentiels, qui impliquent l'existence dans le domaine représenté d'un objet pour tout élément de l'échelle numérique, qui peut être pris comme l'unité. Nous sommes parvenus, après la discussion de la théorie réaliste des magnitudes-propriétés, à une double thèse : premièrement, la défense d'une interprétation actualiste des axiomes existentiels, qui ne désignent pas des entités possibles (particuliers ou propriétés non-instanciées) mais des particuliers actuels. Deuxièmement, nous avons fini par expliquer comment l'ontologie des structures empiriques, formée par des particuliers *abstraits* que l'on identifie à des places dans ces structures, permettait d'analyser cet actualisme.

Ce double résultat peut être formulé maintenant comme la thèse de *la magnitude-étalon* : toute magnitude qui est une détermination de la grandeur M, est en même temps un cas particulier de la propriété m qui peut servir d'étalon, c'est-à-dire peut servir de base à un SRM constructible. En effet, une fois fixées les conventions de représentation (sections 1. et 2.), l'ensemble des échelles admissibles pour une même grandeur forme un espace, dont les différentes échelles sont les points, qui diffèrent uniquement par l'unité choisie. Nous appelons « Espace Représentationnel de la grandeur M » ER(M) l'ensemble des échelles admissibles d'une même grandeur (une fois fixée les conventions de représentation étudiées en sections 1. et 2.). Un groupe de transformations admissibles règle le passage d'un point à un autre, c'est-à-dire le changement d'échelle de mesure d'une même grandeur. La condition de constructibilité des échelles nous permet maintenant de dire qu'au sein de cet espace

représentationnel de M, toute échelle doit correspondre à un SRM constructible, puisque toute unité admissible de mesure de M doit avoir pour référent physique un particulier qui est cas de la propriété m, et sur lequel peut être construit un SRM de mesure de m. Or, comme le choix de la magnitude représentée par 1 est conventionnel, toutes les magnitudes doivent pouvoir servir d'unité de mesure. Par conséquent, la condition de constructibilité implique bien la thèse de la magnitude-étalon : toute magnitude qui est une détermination de M doit correspondre à un étalon éligible, qui est un cas particulier actuel de la propriété m.

5. Conclusion : une dérivation de la théorie DVQ pour les quantités continues.

Dans cette conclusion, qui clôt les deux chapitres sur la mesure, notre but est d'achever la dérivation de la théorie DVQ à partir des réquisits d'objectivité dans la mesure des quantités continues. Pour cela, il faut commencer par préciser les thèses ontologiques que nous déduisons, dire à partir de quoi elles sont déduites, et enfin, expliciter les voies de déductions.

5.1.Ce qu'il faut dériver, et à partir de quoi le faire.

La théorie ontologique que nous pensons retrouver est formée par l'interprétation structuraliste des thèses DQ et VQ, supplémentées par la thèse de Réalisation des Possibilités Physiques (RPP).

Selon cette théorie, les diverses instances d'une même propriété sont des particuliers abstraits, qui sont des déterminations différentes du même déterminable, et ne diffèrent qu'en tant que déterminations différentes de celui-ci. D'après l'interprétation structuraliste de DVQ, présentée au chapitre IV, cela signifie que les instances distinctes d'une même propriété sont des places différentes au sein d'une structure de déterminations relationnelles. A ces thèses DQ et VQ, nous ajoutions une conséquence de la nature relationnelle des déterminations quantitatives. La thèse RPP affirme que toutes les déterminations physiquement possibles (c'est-à-dire compatible avec les lois de la nature) d'une propriété sont physiquement réalisées (bien que non toutes concrètement réalisées). C'est cet ensemble de thèses ontologiques que nous pensons pouvoir déduire des conditions de l'applicabilité objective des mathématiques à la mesure des grandeurs continues.

Mais à partir de quoi les déduire ? Les approches opérationnelles et représentationnelles de la mesure nous ont fourni deux points de départ distincts, mais également nécessaires à notre dérivation. D'abord, la mesure est l'application de nombres à des objets au sein d'un SRM, construit à partir du choix conventionnel d'un étalon e et de la définition d'une opération de mesure o. Concernant les opérations de mesure, nous avons vu que l'objectivité des résultats qu'elles produisaient dépendait de conditions nomologiques. Concernant le choix de l'étalon, l'application de ces nombres aux objets mesurés n'est objective qu'à la condition de ne pas donner une signification physique à *toutes* les

différences qui résultent du choix de *cet* étalon e, plutôt que de *cet* autre e'. Ensuite, la mesure peut aussi être vue comme la représentation de systèmes d'objets par des structures numériques, les échelles métriques. Une échelle représente alors objectivement ces objets s'ils ont une structure relationnelle telle que, en choisissant un mode conventionnel d'association des objets et des nombres de l'échelle, les traits structuraux étaient préservés. En outre, d'après les axiomes existentiels, il faut pouvoir interpréter toutes les échelles métriques équivalentes (qui ne varient que par le choix de l'unité) comme des SRM constructibles. De ces deux approches et des réquisits d'objectivité que nous en avons tirés, nous pouvons maintenant formuler deux thèses, qui servent de ponts vers la théorie DVQ.

5.2. Dérivation de DVQ.

La première, que nous avons fait ressortir à partir de l'approche opérationnelle de l'objectivité métrique, est la thèse de *l'étalon-magnitude* : tout cas particulier d'une propriété m mesurable, qui peut servir d'étalon pour la construction d'un SRM, est une magnitude de la grandeur M. Nous avons montré que cette thèse est la condition de l'objectivité des mesures obtenues au sein d'un SRM construit.

La seconde thèse, que nous avons fait ressortir à partir de l'approche représentationnelle de l'objectivité métrique, est la thèse de *la magnitude-étalon* : toute magnitude qui est une détermination de la grandeur M, est un cas particulier de la propriété m qui peut servir d'étalon, c'est-à-dire peut servir de base à un SRM constructible. Cette thèse est la condition de la représentativité des échelles métriques.

De ces deux thèses, il ressort l'équivalence suivante : « m_i est une détermination quantitative de la grandeur M » ↔ « m_i est un particulier qui est une instance particulière de la propriété mesurable m ». La thèse de l'étalon-magnitude correspond à la lecture de cette équivalence dans le sens « ← », et celle de la magnitude-étalon au sens « → ».

Or on retrouve parfaitement, avec cette équivalence, la théorie DVQ. Toute magnitude, qui est une détermination de la grandeur déterminable M, est un particulier abstrait du domaine de la propriété physique m, susceptible alors d'être pris comme étalon pour la construction d'un SRM de m ; c'est ce qu'impose la condition de constructibilité des échelles métriques en SRM. Et inversement, tout particulier qui est une instanciation particulière de m est une détermination de cette grandeur, c'est-à-dire une magnitude ; c'est ce qu'impose la condition d'objectivité des mesures obtenues au sein d'un SRM construit. Au plan ontologique, l'équivalence signifie que le rapport *d'instanciation*, qui tient entre une propriété m et les particuliers massifs distincts, et le rapport de *détermination*, qui vaut entre une grandeur M et ses magnitudes différentes, sont un seul et même rapport. C'est exactement ce qu'affirment ensemble les thèses DQ et VQ.

Il y a une autre façon de formuler la même équivalence, comme l'identité stricte de l'ensemble des étalons (que l'on peut prendre pour construire un SRM de la propriété m) et de l'espace des unités (que l'on peut fixer pour établir une échelle de la grandeur M). Or les concepts d'étalon et d'unité n'ont

pas le même sens. Un étalon est un particulier existant, sur lequel on peut construire un système concret de mesure (SRM). Une unité est une détermination de la grandeur M à laquelle on associe arbitrairement le nombre « 1 ». Notre théorie permet de dire que, dotés de signification différentes, les concepts d'étalon et d'unité ont exactement les mêmes références, pour une propriété quantitative donnée. Par exemple, l'unité du « kilogramme », définie théoriquement en fonction de la constante de Planck, est une détermination de la grandeur « Masse », qui est en même temps un et un seul particulier massif *abstrait*, le kilogramme étalon. Comme tous les particuliers qui instancient m peuvent être pris comme étalon, et que toute détermination peut être prise pour unité, cette formulation est équivalente à l'équivalence[80].

Enfin, on retrouve également la thèse RPP, comme nous l'avons vue dans l'approche représentationnelle, qui exige que toute détermination de la grandeur M soit un étalon pour un SRM constructible. Cela signifie par conséquent que toute détermination de M est un cas particulier de la propriété m, et que toute détermination de M est donc physiquement réalisée. C'est une thèse ontologique très forte qui signifie que l'application objective des mathématiques en mesure, et la représentativité d'une échelle de mesure, impliquent l'existence de tout particulier qui est en rapport de variations quantitatives avec, par exemple, des particuliers déjà rencontrés dans l'expérience. Dans la formulation structuraliste de cette théorie, cela veut dire que la structure d'objets que représente une échelle numérique existe entièrement, c'est-à-dire que toutes les places de cette structure sont des particuliers actuels. Par conséquent, dès lors que nous avons découvert empiriquement, par la construction de SRM pour mesurer une propriété m, et que l'on suppose cette propriété mesurable, alors on peut en inférer l'existence dans le monde de tous les particuliers qui sont les places de cette structure, et qui ne diffèrent des particuliers rencontrés qu'en tant que déterminations relationnelles différentes. On retrouvera cette même conséquence cruciale dans nos réponses aux problèmes de l'induction d'une part (*cf* chapitre VII), et de l'inférence existentielle non standard (*cf* chapitre VIII).

[80] Si l'on préfère (c'est à nouveau rigoureusement équivalent), l'équivalence peut aussi être formulée comme l'identité stricte entre l'ensemble des SRM légitimes pour la mesure de m (« espace référentiel » de m) et l'ensemble des échelles admissibles de M (« espace représentationnel » de M). Tout SRM est une bonne représentation de la grandeur mesurée, et toute échelle est un SRM constructible.

Troisième partie : la structure nomique de la réalité

Ontologie des lois de la nature

Chapitre VII : Lois de la nature et fondement de l'induction

Qu'est-ce qu'une loi de la nature et comment régit-elle les phénomènes ou le comportement des particuliers ? Dans ce chapitre, nous partons de l'hypothèse selon laquelle les sciences, ou du moins certaines sciences comme la physique et la chimie, recherchent et peuvent effectivement découvrir des lois de la nature, et ont pour but de nous dire quelles sont ces lois. Nous supposons donc un réalisme des lois de la nature. Se pose alors la question, à la fois épistémologique et métaphysique, de savoir ce qu'on connaît, quand on découvre une telle loi ? On appelle « énoncé nomologique » l'énoncé qui, dans une théorie scientifique, formule ce que la théorie tient pour une loi de la nature. Quelle est la nature de ce que désigne dans la réalité un énoncé nomologique vrai ?

Nous désignerons par « loi de la nature » le vérifacteur d'un ou plusieurs énoncé(s) nomologique(s), et allons poursuivre notre analyse ontologique des vérifacteurs. Pour cela, nous commencerons par examiner les deux positions ontologiques rivales sur la nature des lois de la nature (section 1.), d'un côté la théorie régulariste qui les identifie à des régularités phénoménales, de l'autre la théorie universaliste qui les conçoit comme des relations entre universaux. De leur confrontation, nous tirerons une liste de réquisits que doit satisfaire une ontologie des lois pour être satisfaisante.

Les lois de la nature sont aussi ce qui, en existant, rend possible l'induction scientifique. C'est pourquoi nous discuterons ensuite l'ancien problème de l'induction, et donnerons de repousser sa formulation traditionnelle, selon laquelle il s'agit de démontrer un principe de *permanence* des lois de la nature dans le temps. Nous montrerons qu'il n'y a pas de sens à parler de changement des lois de la nature, et qu'il suffit donc, pour que l'induction soit possible, qu'elles existent et règlent. Bien le cours des phénomènes (section 2.).

Enfin, dans les sections 3. et 4., nous finirons par proposer l'ontologie des lois de la nature qui se dégage de la théorie DVQ. Elle est une théorie régulariste des lois, qui les identifie à des rapports de variations concomitantes entre les classes structurées de déterminations de propriétés quantitatives. Nous atteindrons alors le but du chapitre, qui est de proposer une ontologie des lois non seulement satisfaisante à la lumière des réquisits de la section 1., mais aussi attendu que leur existence doit fournir un fondement métaphysique suffisant pour l'induction scientifique.

1. La nature des lois de la nature.

Comment concevoir la nature ontologique d'une loi de la nature ? Se dégage dans la littérature récente une très nette opposition entre une approche plutôt empiriste, et une analyse radicalement réaliste des lois. Nous appellerons *régularisme* et *universalisme* ces deux positions adverses.

Pour les régularistes, une loi n'est rien de plus qu'une régularité phénoménale, c'est-à-dire une conjonction constamment observable entre plusieurs phénomènes ou types de phénomènes. Les théoriciens régularistes des lois aiment faire remonter leurs idées à Hume, ce qui peut paraître étrange. Ils affirment qu'il y a des lois de la nature, et qu'elles ne consistent en rien d'autre que les uniformités phénoménales. Hume serait à notre plutôt d'avis de dire, non que les uniformités sont des lois, mais qu'il n'y a pas de lois et seulement des uniformités (Hume, 2008)(section VII). Mais la question, depuis l'époque de Hume, a changé de nature. Il ne s'agit plus de savoir si la science peut ou non découvrir les lois de la nature, mais partant du principe qu'elle le fait, si ce qu'elle découvre ne consiste qu'en des régularités phénoménales. La théorie régulariste humienne a été ensuite développée par (Mill, 1866), puis (Ramsey, 1978), (Lewis, 1973) et (Lewis, 1999)[81].

Pour un régulariste, l'énoncé nomologique s'analyse comme un énoncé vrai, quantifié universellement et portant sur tous les particuliers d'un domaine. Par exemple, « Tous les corbeaux sont noirs », « Toutes les émeraudes sont vertes » ou « Tout corps qui ne subit aucune influence extérieure demeure dans un état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme », sont des énoncés nomologiques, qui désignent des uniformités empiriques. Ils portent sur des particuliers comme les corbeaux, les émeraudes ou les corps. La loi est l'uniformité empirique qui en étant le cas rend vrai l'énoncé nomologique universel. Il faut préciser qu'un énoncé nomologique, ainsi conçu, n'est pas pour autant un simple résumé d'expérience. Il est admis généralement que la portée (*scope*) d'une loi, même pour le régulariste, est illimitée dans le temps et dans l'espace, et que l'énoncé nomologique ne désigne pas seulement les particuliers déjà observés par le passé ou rencontrés dans l'expérience.

D'après la théorie universaliste, ce que désignent les énoncés nomologiques vrais est plus qu'une simple régularité observable. Pour des raisons que nous examinons dans la section 1.1., Dretske, Tooley et Armstrong pensent que les lois consistent en des états de choses irréductibles à des régularités phénoménales, fussent-elles universelles ou illimitées. Les théories scientifiques, en énonçant des lois de la nature, lèveraient le voile sur des *nécessités physiques* dont les phénomènes constants seraient les indices visibles. Comment s'analyse précisément cette position « universaliste » ?

Les exemples d'énoncés nomologiques que nous donnions, comme « Toutes les émeraudes sont vertes », peuvent être schématisés ainsi : « Toux les x qui sont F sont aussi G ». Ils affirment que tous les particuliers qui exemplifient une propriété F se trouvent aussi avoir une propriété G. Pour un universaliste, une loi ne consiste pas dans ce simple fait empirique général, mais relie les propriétés F et G elles-mêmes. La loi se définit donc précisément comme une relation N entre des propriétés, ici F et G ; et l'énoncé nomologique, quand il affirme que « Tous les Fs sont Gs », asserte en réalité un état de choses concernant les propriétés F et G : l'état de choses « N(F,G) ». Comme il est fréquent de désigner ces propriétés comme des *universaux*, nous parlons d'une analyse *universaliste* des lois de la nature.

[81] Pour un aperçu utile de cette approche, voir aussi (Bird, 1998).

Mais il faut bien remarquer que l'énoncé nomologique, interprété par la théorie universaliste, n'est pas conçu comme universellement quantifié. Au contraire, il affirme l'existence d'un unique état de choses impliquant des universaux F et G, et asserte *qu'il existe* une relation N entre eux ; d'après cette conception de la loi, l'énoncé qui la dit est quantifié existentiellement. Cette théorie des lois est aussi parfois appelée « DTA », en référence à Dretske, Tooley et Armstrong qui l'ont développée en premier. Ainsi, les universalistes se distinguent des régularistes en identifiant la référence des énoncés nomologiques non pas à des particuliers ou à une collection de particuliers, mais à des universaux. Pour comprendre ce qu'est une loi de la nature, il faut opérer cette « montée ontologique » (comme le dit Dretske) de l'ordre des particuliers à celui des universaux. Passons maintenant en revue les principaux arguments contre la théorie régulariste, et en faveur de la position universaliste.

1.1. Universalisme DTA contre régularisme humien

Soit (U) un énoncé universel vrai, qui servira de modèle de généralisation empirique dans tout ce travail, et (NU) l'énoncé nomologique correspondant :

(U) : « Tous les x qui sont F sont G »
(NU) : « C'est une loi que tous les x qui sont F sont G »

Le défi des réalistes que sont Dretske, Tooley et Armstrong, est de donner des raisons convaincantes de penser que (NU) ne désigne pas la simple régularité empirique décrite par (U). Ils avancent pour cela deux grands types d'argument, épistémologique et sémantique. D'un point de vue *épistémologique*, ils montrent qu'un énoncé nomologique réduit à la forme (U) ne remplit pas le rôle (explicatif et confirmationnel) qu'on est en droit d'attendre d'un énoncé désignant une loi de la nature. D'un point de vue *sémantique*, ils font valoir que la réduction des lois à des uniformités empiriques, fussent-elles universelles, rend difficile de discerner les authentiques lois des généralisations accidentelles. Examinons successivement ces arguments, car ils sont essentiels pour comprendre la définition des lois comme relations entre universaux, qu'il s'agira ensuite de critiquer.

1.1.1. Arguments épistémologiques.

Dretske, Tooley et Armstrong font appel à des arguments épistémologiques pour montrer l'insuffisance de la position régulariste. L'idée générale peut se formuler ainsi : pour qu'un énoncé nomologique remplisse le rôle épistémologique qu'on veut lui prêter dans une théorie, il faut que la loi qui le rend vrai soit plus qu'une uniformité humienne. Ils déclinent alors deux arguments, selon le rôle

qu'on prête à la loi. Soit on conçoit la loi comme « ce qui est confirmé par ses instances », et on insiste sur la *confirmation* de la théorie ; soit on conçoit la loi comme un vecteur *d'explication* théorique.

1.1.1.1.L'argument tiré de la confirmation des lois.

Commençons par la confirmation. (Dretske, 1977) explique pourquoi les empiristes sont tentés d'identifier les lois de la nature avec certaines classes de vérités universelles. (Hempel & Oppenheim, 1948) définissent les lois comme des énoncés universellement vrais, à la portée (*scope*) illimitée, qui n'incluent que des prédicats qualitatifs (c'est-à-dire des termes non-logiques de propriété ou de relation). Pour l'empiriste, une loi est un énoncé (nomologique) et non ce qui dans la nature est désigné par l'énoncé nomologique. Il a une forme logique clairement identifiable :

(U) : « Pour tout x, si F(x) alors G(x) »

Il s'agit d'une implication matérielle, c'est-à-dire d'une relation d'inclusion extensionnelle entre l'ensemble des *x* qui sont G et l'ensemble des *x* qui sont F. Par exemple, « tous les métaux conduisent l'électricité », « tous les corbeaux sont noirs », ou encore « à pression constante, tout gaz s'étend à mesure que la température augmente ».

Pourquoi cette position est-elle si tentante pour l'empiriste ? Si un énoncé nomologique avait un contenu supplémentaire ou différent par rapport à un énoncé universellement vrai, qui se borne aux régularités empiriques, alors ses conditions de vérité seraient hors de notre portée épistémologique (« *epistemic grasp* » (Dretske, 1977, p. 249)) ; et si les lois devaient désigner des réalités non-empiriques, comme des relations entre universaux, on ne verrait pas comment justifier leur recherche par les sciences ainsi que la croyance rationnelle en leur existence. Mais déjà, signale Dretske, les conditions de vérité empiriques des énoncés universellement quantifiés sont en nombre illimité, ce qui situe leur vérité bien au-delà de notre accès épistémique au sens strict. Lorsqu'on dit que « tous les corbeaux sont noirs », on ne réduit pas cet énoncé aux seuls corbeaux jamais observés dans l'expérience, mais à tous les corbeaux qui ont existé, existent ou existeront[82]. Mais c'est, à le lire, une limitation « triviale », qui a simplement trait à la finitude de l'expérience humaine.

Bien plus constitutive est notre incapacité à avoir *accès* à des réalités non-empiriques que désigneraient les lois, si elles étaient *plus* que des uniformités humiennes. Résumons donc l'argument empiriste : on ne pourrait plus comprendre comment l'expérience et les phénomènes empiriquement accessibles *confirment* la théorie et les énoncés nomologiques, si ces derniers consistaient en quelque chose de plus que des vérités universelles, et s'ils assertaient des connexions nomiques entre états de

[82] Et même, qui *pourraient* exister. Nous reviendrons plus bas sur le cas des contrefactuels.

choses, etc. Face à notre défaut d'accès épistémique à ces réalités supposées, Hume devenait sceptique ; nos empiristes modernes préfèrent diminuer les objectifs de la connaissance scientifique pour mieux s'assurer qu'on peut les atteindre. Une théorie scientifique, en établissant des lois de la nature, ne viserait qu'à établir des régularités empiriques, et cet objectif semble empiriquement atteignable.

Face à cet argument, Dretske fait valoir au contraire que l'énoncé nomologique ne peut pas être *confirmé* par ses instances empiriques si ses conditions de vérité se réduisent à la simple conjonction de ces instances empiriques. Il dénonce l'illusion « que des vérités universelles pourraient être confirmées par leurs instances, et donc être prises pour des lois de la nature » (p. 258) Pour le comprendre, il faut clairement distinguer confirmation et vérification. On dira d'un énoncé qu'il est vérifié lorsqu'on s'est assuré par l'observation que ses conditions de vérité sont satisfaites, et partiellement vérifié lorsqu'une partie seulement de ces conditions sont observées. Le régulariste réduit la loi à une régularité empirique pour qu'elle puisse être vérifiée, au moins partiellement. Au contraire, un énoncé nomologique ne pourra pas être vérifié, même partiellement, s'il désigne un état de chose différent de l'uniformité phénoménale, car on ne pourra jamais s'assurer que ses conditions de vérité sont satisfaites.

Mais confirmer un énoncé ce n'est justement pas le vérifier. On dit qu'un énoncé nomologique est (partiellement) *confirmé* si (une partie de) ses conséquences observationnelles sont *vérifiées*. La confirmation inductive désigne ce processus cumulatif de vérification des conséquences observationnelles d'un énoncé nomologique. Celui-ci pourrait n'être jamais vérifié tout en étant progressivement confirmé, par induction. Voici donc à quoi pourrait ressembler l'argument universaliste : un énoncé nomologique est *confirmable* mais n'est pas *vérifiable* (même partiellement), donc il ne doit pas s'identifier avec la régularité empirique. Si la régularité empirique était entièrement observée, alors l'énoncé serait entièrement confirmé par elle, mais non pas vérifié. L'universaliste propose alors d'identifier la loi à une relation entre deux universaux, F et G. L'énoncé nomologique (NU) qui dit cette état de chose nomique est confirmé par l'observation des particuliers qui sont F et G.

Pour défendre cette distinction entre confirmation et vérification, Dretske (p. 259) explique que pour qu'un énoncé soit confirmé par des observations particulières, il faut que le processus de confirmation augmente la probabilité que soient vraies les prédictions de la loi, c'est-à-dire les conséquences observationnelles futures (en nombre illimité) de cet énoncé. Or la vérification d'un énoncé de régularité, par l'observation d'une partie de la collection de faits particuliers qu'il désigne, n'augmente pas la probabilité que ce que dit cet énoncé de l'autre partie (non-observée) soit vrai.

Cet argument est, à lui seul, très critiquable, mais il capture un point essentiel et pourra être renforcé grâce au prochain argument. Pris isolément, néanmoins, il peut être facilement démis par un régulariste. Le tenant d'une thèse empiriste classique sur les énoncés nomologiques pourra en effet très bien admettre ce lien entre la nomicité (*lawlikness*) et la confirmabilité. Comme le soulignait déjà Goodman, « seul un énoncé nomologique (*lawlike*) – qu'il soit vrai ou faux, ou même scientifiquement important, est capable de recevoir une confirmation de la part de ses instances ; un énoncé accidentel ne

le peut pas » (Goodman, 1954a, p. 73). L'empiriste admet que le propre d'un énoncé nomologique est de pouvoir être confirmé. Seulement, il pourra très bien contester la prémisse selon laquelle la confirmation exclut la vérification.

Il est en effet possible de penser, au contraire, qu'un énoncé nomologique est un énoncé universel énonçant une régularité illimitée (contenant donc aussi des cas futurs), qui est confirmable par l'observation de certaines de ses instances particulières, c'est-à-dire par sa vérification partielle. Goodman donne l'exemple de « Tout morceau de cuivre conduit l'électricité », dont la probabilité est, selon lui, augmentée à chaque fois qu'on observe un morceau particulier de cuivre conduire de l'électricité. L'argument de Dretske, pris isolément, n'est pas suffisant, mais suppose qu'on ne puisse pas confirmer un énoncé nomologique en le vérifiant partiellement. L'un des problèmes que pose le critère empiriste de la confirmation sera précisément de ne pas pouvoir distinguer entre les régularités qui sont des lois de la nature et des régularités seulement accidentelles, dans la mesure où dans les deux cas, nous avons un énoncé universel qui peut être partiellement vérifié (*cf* section 1.1.2.2.).

1.1.1.2.L'argument tiré de l'explication nomologique

(Armstrong, 1983) reprend à son compte cette ligne d'argumentation épistémologique contre l'identification des lois à des uniformités humiennes. Lui commence par l'exigence d'explication que doit remplir tout énoncé de loi digne de ce nom. En réaliste scientifique, Armstrong pense que les théories scientifiques les mieux acceptées expliquent avec succès certains phénomènes parce qu'elles décrivent adéquatement des entités inobservables et leur structure. En particulier les énoncés nomologiques, dans son esprit, réfèrent à des relations entre universaux qui « expliquent » les régularités phénoménales observées – l'un des enjeux de la discussion sera justement de savoir ce qu'on peut entendre ici par « expliquer ».

Or l'énoncé universel (U), s'il affirme bien que tous les Fs sont G, ne fait que décrire une conjonction constante entre toutes les instances de F et celles de G. Armstrong commence par dire qu'on manque quelque chose comme une « connexion interne » (p. 39) entre F et G qui expliquerait pourquoi, dès qu'un particulier a est F, alors il doit se faire que a est G. Selon Armstrong, la théorie régulariste explique qu'un particulier qui est F doit aussi être G par le fait que tous les autres particuliers qui sont F sont aussi G : « le fait que a soit F (*a's being F*) nécessite nomiquement le fait que a soit G seulement parce que les autres Fs sont tous aussi Gs. Si la conjonction d'états de choses est un cas de connexion nomique, ce ne peut être que par une propriété purement relationnelle de la conjonction » (p. 39). Or dans l'esprit d'Armstrong, il ne suffit pas que l'énoncé universel U implique (matériellement) l'énoncé particulier F(a)^G(a) pour que cette conjonction soit expliquée, mais il faudrait une « connexion interne » entre le fait que a soit F et le fait qu'il soit G.

Deuxième argument, proche du premier quoique plus général : on voudrait que l'énoncé nomologique (NU) « C'est une loi que tous les x qui sont F sont G », soit une explication de (U). Mais, si la loi se réduit au simple fait que (U), alors soit (U) s'explique lui-même : soit c'est absurde, soit la loi perd tout pouvoir explicatif, ce qui est dommageable. Soit par exemple l'énoncé nomologique (NU-E) « C'est une loi que toutes les émeraudes sont vertes ». Un tel énoncé doit s'analyser d'une façon telle qu'il peut expliquer le fait empirique et régulier énoncé par (U-E) : « toutes les émeraudes sont vertes ». C'est la raison pour laquelle il doit désigner autre chose que ce même fait empirique et régulier. S'imagine-t-on expliquer le fait que toutes les émeraudes sont vertes par le fait qu'elles sont bien toutes vertes ? Ce serait absurde. En revanche, Si (NU-E) désigne une connexion entre le type « Émeraude » et la propriété désignée par le prédicat « vert », alors une telle connexion permettrait d'expliquer pourquoi chaque chose particulière qui est une émeraude doit du même coup être verte. Seule une relation entre universaux permet d'expliquer la régularité phénoménale pour Armstrong, mais il faudra alors définir précisément cette notion d'explication.

1.1.1.3.L'unité des deux arguments : l'induction.

Il y a en réalité un rapport très étroit entre ces deux rôles épistémologiques joués par l'énoncé nomologique, le rôle de « ce qui explique » et le rôle de « ce qui est confirmé ». Selon Dretske, « la confirmation est (grosso modo) l'inverse de l'explication ; E confirme H si H explique E » (Dretske, 1977, p. 261). Plus exactement, *il n'y a que ce qui explique qui peut être confirmé (par ce qu'il explique)*. A le croire, l'énoncé d'une généralisation empirique ne peut pas être *confirmé* par les cas particuliers qu'il subsume, précisément parce qu'il ne les explique pas. On ne peut confirmer inductivement une hypothèse scientifique que si elle explique les phénomènes sur lesquels on induit. Or une généralisation simplement vraie asserte ses instances, mais ne les explique pas, donc ne peut pas en tirer une confirmation.

L'empiriste arguera qu'elle les *explique* bien, puisqu'elle les *implique*. La discussion doit donc porter sur la notion d'explication elle-même. L'énoncé « Tous les corbeaux sont noirs » explique le fait que ce corbeau soit noir dans la mesure où il permet de déduire le caractère noir de ce corbeau-ci à partir de l'énoncé général. On reconnaît ici le modèle DN déductif-nomologique de l'explication, formalisé par (Hempel, 1965). Mais Dretske nie que la subsomption logique d'une instance particulière sous une généralisation ait plus de pouvoir explicatif que de dériver « P » de « P^Q », c'est-à-dire aucun :

> Si nous prenons au sérieux la connexion entre explication et confirmation, et l'idée que confirmer une hypothèse, c'est présenter des données dont l'hypothèse est la meilleure (l'une des meilleures) explication(s), alors nous aboutissons à ce résultat légèrement paradoxal que les lois peuvent être confirmées parce qu'elles sont plus que des généralisations des données. (Dretske, 1977, p. 267)

Il y a bien quelque chose de paradoxal à penser qu'un énoncé nomologique n'est confirmé par des données empiriques qu'à la condition qu'il dise plus et autre chose qu'une généralisation empirique. Mais cette apparence se résout vite, dès lors qu'on fait la différence entre la confirmation d'une théorie et la simple vérification de son contenu empirique, comme nous le disions plus haut. Mais maintenant, nous avons une raison plus précise pour distinguer confirmation et vérification partielle, et pour dire qu'un énoncé nomologique est confirmé et non vérifié par l'expérience. Un énoncé nomologique peut être confirmé mais non vérifié par des observations, parce qu'il les explique et ne fait pas que les décrire.

Armstrong complète alors l'argument, en s'appuyant sur la nécessité de rendre compte du processus inductif par lequel une théorie est progressivement confirmée par l'expérience :

> Supposons que tous les Fs observés sont G, et qu'il est rationnel, compte tenu de toutes les circonstances observationnelles, de croire que c'est une loi que tous les Fs sont Gs. Supposons que c'est bien une loi. Selon l'approche régulariste, la loi ne consiste entièrement que dans le fait que les Fs observés sont G et que les Fs non-observés sont G. Je soutiens, au contraire, que la loi implique quelque chose de plus, un état de choses supplémentaire. La présence de ce quelque chose en plus (d'après moi, une relation entre universaux, mais je ne voudrais pas que ce qui est défendu ici dépende de cette opinion) sert d'abord à expliquer pourquoi tous les Fs observés sont G, et ensuite à entraîner que tous les Fs non-observés seront aussi G. Le postulat de ce quelque chose en plus est un cas d'inférence à la meilleure explication. Il est rationnel de postuler ce qui explique le mieux les phénomènes. L'induction est donc rationnelle, parce qu'elle est un cas d'inférence à la meilleure explication. (Armstrong, 1983, p. 55)

Quand nous observons une séquence de phénomènes réguliers, nous avons tendance à penser qu'ils sont les instances d'une loi. Mais comment analyser et justifier cette inférence ? Comment l'observation d'un certain nombre de *x* qui sont F et G peut-elle permettre *d'induire* la vérité de l'énoncé nomologique (NU) ? Pour un empiriste régulariste, cette induction n'est que le processus de généralisation des cas observés à tous les cas, et la loi n'est que la régularité universelle qui les comprend tous. L'énoncé de la loi est confirmé par les cas observés qui le vérifient partiellement, et comme il les implique matériellement, il les explique. C'est finalement tout ce tableau qui est rejeté par DTA : l'induction n'est pas un processus de généralisation, mais une inférence à la meilleure explication. La loi, dont l'énoncé est confirmé inductivement par l'observation de ses conséquences, n'est donc pas identifiée à la régularité phénoménale, mais est ce dont le postulat permet d'expliquer cette régularité. En effet, pour Armstrong, il est rationnel d'inférer la vérité de ce qui explique le mieux certains phénomènes – c'est ce qu'on appelle l'Inférence à la Meilleure Explication.

L'argument d'Armstrong est alors le suivant : une loi est ordinairement inférée comme la meilleure explication d'un certain nombre de phénomènes expérimentaux. Or une loi n'est pas une hypothèse explicative comme une autre : parce qu'elle implique ce « quelque chose en plus », comme

une relation entre universaux, elle fonde celui qui la postule à prédire une prolongation de la régularité du phénomène. Par le genre d'explication qu'il fournit, un énoncé nomologique s'offre naturellement à la confirmation inductive. Or une simple généralisation empirique en serait bien incapable : inapte à expliquer ce qu'elle décrit, elle n'est donc pas de nature à être induite par expérience.

L'argument des universalistes contre l'analyse régulariste des lois peut donc se dire ainsi : une loi ne se réduit pas à une généralisation empirique, parce qu'une généralisation empirique n'est pas inductible. Elle n'explique aucune observation passée, elle ne fournit aucun fondement à des prédictions futures : tout au plus *décrit*-elle ces observations et ces prédictions. Nous nous apercevons en même temps que cette ligne argumentative suppose d'une part une certaine interprétation de l'induction scientifique : qu'elle n'est pas une généralisation empirique des cas observés aux non-observés, mais une remontée des phénomènes réguliers observables à leur meilleure explication, et d'autre part une définition métaphysique de l'explication scientifique : par ce qu'il affirme avec (NU), un scientifique postule des entités comme des universaux pour expliquer les phénomènes particuliers. Nous examinerons à la section 1.3 cette relation métaphysique d'explication, qu'on désigne aujourd'hui sous le nom de « relation de fondation » (*grounding relation*).

1.1.2. Arguments sémantiques et ontologiques.

Examinons maintenant la deuxième ligne d'arguments que ces auteurs partagent, et qui nous donne des raisons sémantico-ontologiques de distinguer les lois des simples généralisations empiriques. Tous ces arguments concourent à montrer qu'un énoncé nomologique ne peut pas avoir les mêmes conditions de vérité qu'un énoncé universel, qui affirme une simple uniformité humienne.

1.1.2.1.L'argument tiré de l'opacité intensionnelle de l'énoncé nomologique.

Dretske a souligné le premier les phénomènes sémantiques d'intensionalité et d'opacité des énoncés nomologiques. Soit (U-C) « Tous les corbeaux sont noirs ». Si nous remplaçons « corbeaux » par « oiseaux qui croassent », comme l'extension de ces deux prédicats est identique, la vérité de l'énoncé est conservée. Dans un énoncé universel comme (U), sa vérité est parfaitement conservée quand on substitue au prédicat F un prédicat de même extension. Mais il n'en va pas de même avec les énoncés nomologiques. Dretske écrit :

> Si les diamants ont un indice de réfraction de 2,419 (d'après une loi) et que « être un diamant » est coextensif avec « être extrait de la kimberlite », on ne peut pas en inférer que c'est une loi que les choses extraites de la kimberlite ont un indice de réfraction de 2,419. Ce sera ou non une loi selon que la coextensivité de « être un diamant » et « être extrait de la kimberlite » est elle-même une loi. La classe

> des lois n'est pas close par la même opération que la classe des vérités universelles. (Dretske, 1977, p. 250)

« C'est une loi que tous les F sont G » n'a pas les mêmes conditions de vérité que « C'est une loi que tous les H sont G », même si, *de fait* « tous les F sont H et tous les H sont F » (à moins que cette équivalence soit elle-même une loi). Pour reprendre notre exemple, ce n'est pas une loi que tous les oiseaux qui croassent sont noirs, parce qu'il n'y a qu'un rapport accidentel[83] entre le fait que ces individus soient des corbeaux et le fait qu'ils croassent. L'ajout de l'opérateur « C'est une loi que » suspend le caractère extensionnel des *conditions de vérité de l'énoncé*. Il y a ici un phénomène sémantique de première importance pour distinguer les lois des simples généralisations empiriques. Ce phénomène, Dretske l'appelle aussi l'opacité des positions de prédicat dans les énoncés nomologiques.

Pour rendre compte de ce fait sémantique, Dretske explique qu'en passant de (U) à (NU), on assiste à un *changement de référence* (p. 253). S'il y a opacité, c'est qu'en ajoutant « c'est une loi que », on ne désigne plus l'extension des deux prédicats mais tout autre chose, une relation entre des propriétés (ou des universaux). En réalité, la loi ne dit plus que « tous les *x* qui sont F sont G », mais que « la F-itude entraîne la G-itude ». Ainsi, la position universaliste, qui est partagée par Tooley et Armstrong, affirme que l'énoncé nomologique n'a pas pour conditions de vérité un ensemble (souvent illimité) de faits humiens, c'est-à-dire d'états de choses particuliers, mais un état de chose concernant les universaux F et G qui sont instanciés dans les faits humiens F(a) et G(a). Ce changement de référence explique selon Dretske l'opacité sémantique qui touche les prédicats désignant les propriétés impliquées dans une régularité[84]. Par conséquent, nous devrions penser qu'un énoncé nomologique ne réfère pas à une collection de faits humiens, mais à cet état de choses nomologique, une relation N entre les propriétés F et G en tant que telles.

---

[83] Il est difficile de donner une définition non-circulaire de ce caractère « accidentel » de certaines généralités vraies ou coïncidences entre deux propriétés. En un premier sens, épistémique, est accidentel un phénomène qui ne demande pas d'explication nomologique. Rien ne l'explique à nos yeux, et pourtant il n'est pas une coïncidence qui nous choque. Mais à définir l'accidentel de cette façon épistémique, comme absence d'appel à l'explication (*call for explanation*), on risque la circularité, dans la mesure où ce qui distingue une généralisation qui correspond à une loi, c'est qu'elle ne nous semble pas accidentelle mais appelle une explication nomologique. En un second sens, objectif, on dira d'une généralisation qu'elle est accidentelle si elle décrit une série de phénomènes particuliers non fondés sur l'existence d'une loi de la nature. A l'inverse, une généralisation est nomologique si elle est fondée sur une loi de la nature. Il restera donc à expliquer précisément ce que signifie être ou non fondé sur une loi de la nature (*cf* sections 1.2 et 1.3).

[84] Certains empiristes comme (Braithwaite, 1957) font une analyse épistémologique de ce phénomène, et refusent de lui chercher une cause sémantique. L'opacité de certains énoncés, comme les énoncés nomologiques, pourrait venir non pas d'un changement de référence (par rapport aux généralisations empiriques correspondantes), mais d'un changement dans le rôle joué par l'énoncé dans la théorie. On pourrait en effet penser qu'à ce compte l'opacité des énoncés nomologiques n'indique pas du tout que les « lois » sont autre chose, sémantiquement et ontologiquement, que des généralisations universelles et vraies, mais seulement qu'on leur confère, dans tel ou tel contexte épistémologique, un rôle explicatif (voire un rôle inductif). Pour ces empiristes, que Dretske appelle les « fonctionnalistes », l'opacité sémantique est simplement un effet de ce rôle épistémique, qui demande d'accoler à (U) un opérateur nomique comme « C'est une loi que ». On comprend bien l'esprit du renversement empiriste humien : un énoncé n'a pas ces caractéristiques sémantiques (opacité) et épistémologiques (explicativité) parce qu'il est nomologique, mais il est nomologique parce qu'on lui confère ces caractéristiques. L'opacité de la position des prédicats dans un énoncé ne lui vient que de sa fonction dans le système. Elle est un effet direct de son pouvoir explicatif. Mais nous pouvons simplement renvoyer l'empiriste aux arguments épistémologiques présentés au-dessus.

1.1.2.2.L'argument des généralisations accidentelles.

Avec (Tooley, 1977), la thèse universaliste est présentée comme une solution aux problèmes sémantiques que soulevait l'identification des lois aux régularités empiriques. Cette ligne argumentative a été ensuite systématisée par (Armstrong, 1983, pp. 11-19). Leur stratégie consiste à montrer qu'on ne peut pas identifier lois et énoncés généraux vrais, parce qu'il y a d'une part des généralisations vraies qui ne sont pas des lois, et d'autre part des lois manifestes que ne correspondent pas à des généralisations vraies. Ainsi, le critère humien de nomicité, à savoir la généralité empirique, n'est ni nécessaire ni suffisant.

Pour montrer l'insuffisance du critère humien de nomicité, Armstrong mentionne d'abord des généralisations qui sont vraies trivialement, parce qu'elles n'ont pas d'instance. Par exemple, « Tout corps qui ne subit aucune influence extérieure (état inertiel parfait), devient rouge et se met à sourire bêtement », est une généralisation vraie, rendue telle *trivialement* par l'absence, dans tout l'univers, d'un corps en état de parfaite inertie. Il y a ensuite le cas des généralisations vraies non trivialement, avec des instances en nombre illimité, qui restent des vérités accidentelles. C'est à cet endroit qu'on trouve le fameux cas des sphères d'or qui font toutes moins de 3 km de diamètre. C'est universellement vrai, mais ce n'est pas suffisant pour en faire une loi. Or, si nous suivions la thèse régulariste en identifiant les conditions de vérité des énoncés nomologiques à celles des généralisations empiriques, nous ne pourrions plus les distinguer de ces généralisations accidentelles.

Armstrong présente ensuite des cas qui montrent la non-nécessité du critère humien. D'une part, il y a le cas des lois probabilistes, qui ne peuvent par nature correspondre à aucune généralisation vraie : toute série d'événements peut être rangée sous le coup d'une loi probabiliste, que les fréquences d'événements soient *proches ou non* de la distribution de probabilités, en raison de la nature même de la probabilité. Si la pièce de monnaie est équilibrée, ce n'est pourtant pas une loi que sur 10 lancers, on aura 5 faces et 5 piles. Simplement, certaines séries rendront plus vraisemblable que les autres une certaine loi probabiliste. La loi probabiliste ne correspond donc à aucune généralisation empirique déterminée. D'autre part, il y a le cas des lois fonctionnelles (c'est-à-dire les équations mathématisées de la physique). Une série de phénomènes, même en nombre illimité, sous-détermine encore une loi qui implique souvent des fonctions à valeurs réelles. La loi mathématisée dit irréductiblement plus que tout nuage de points observés, ce qui ne doit pas l'empêcher d'avoir cours et d'être valide comme « loi ». Dans ces deux cas, nous avons des lois qui ne correspondent pas à des régularités phénoménales.

Armstrong a donc, de cette façon, parfaitement démontré l'inadéquation sémantique entre les concepts de « loi de la nature » et de « généralisation vraie ». Il y a des lois vraies même si aucune instance individuelle ne semble pouvoir tomber sous elle, comme c'est le cas par exemple de la première loi de Newton. Il faut qu'une loi qui n'a pas d'instances positives (comme le principe d'inertie) puisse

être tout aussi vraie qu'une autre. Et il y a des généralisations universelles, même infinies, qui ne sont vraies qu'« accidentellement » et ne sont en aucune façon des lois. Il ne suffise donc pas d'être universellement vrai des états de chose particuliers, pour être une loi.

Il arrive que l'on présente le premier cas comme un argument distinct. On peut en effet concevoir une loi de nature qui est vraie, même si elle n'a de fait aucune instance empirique. On parle alors de l'argument des « possibilités physiques non-réalisées » (Kneale, 1950). Il n'existe pas dans le monde actuel de corbeau blanc. Pourtant, la théorie de l'évolution nous dit que si une population de corbeaux était placée dans un environnement polaire et ses paysages enneigés, alors progressivement, ces corbeaux deviendraient tous blancs. L'existence de corbeaux blancs est en tout cas une possibilité physique et biologique, au sens où elle est compatible avec ce que l'on connaît des lois de la nature. Mais elle n'est pas réalisée actuellement dans le monde. Il existe trois façons de poser le problème, toutes dirigées contre l'identification des lois aux régularités empiriques.

Premièrement, la généralisation « Tous les corbeaux sont noirs » est vraie, mais ne devrait pas être une loi de la nature parce qu'il est physiquement possible qu'un corbeau soit blanc, bien que ce ne soit actuellement pas le cas. Deuxièmement, la généralisation « Il n'existe pas de corbeaux blancs » est vraie, et pourtant n'est pas une loi de la nature, pour la même raison. La troisième façon est certainement la plus intéressante. Elle demande de considérer les différentes possibilités physiques, actuelles et non-actuelles, comme divers cas *d'une même* loi. Si l'on reprend l'exemple des corbeaux, leur environnement peut être globalement sombre, ou bien tirer vers le blanc comme dans l'exemple fictif. Pour ce qui est de leur couleur, les corbeaux peuvent être noirs ou blancs, ou si l'on veut, peuvent prendre n'importe quelle nuance de gris entre ces deux extrêmes. Admettons que la loi visée est un rapport par lequel la couleur du plumage est fonction de celle de l'environnement. Elle dit que plus la couleur dominante de l'environnement est foncée, plus la couleur du plumage des corbeaux est foncée. L'argument des possibilités physiques non-réalisées, qui s'applique alors parfaitement à tout exemple de loi fonctionnelle, dit qu'il existe des cas prévus par la loi, qui ne correspondent pourtant à aucune régularité empirique. Ici, le cas d'un environnement blanc, qui provoque un plumage clair, est une possibilité physique prévue par la loi, qui ne correspond pourtant à aucun fait actuel, puisqu'il n'y a de fait aucun corbeau en environnement polaire. C'est pourtant bien une loi que si une population de corbeaux y vivait, alors la couleur de leur plumage tendrait ver le blanc.

Sous cette troisième forme, cet argument rejoint un dernier argument que l'on peut classer dans le problème des généralisations accidentelles. Il s'agit de fonder la vérité des énoncés contrefactuels. Voici comment Armstrong présente, très classiquement, le problème :

> Les énoncés nomologiques supportent les énoncés contrefactuels. Si les premiers sont vrais, alors les contrefactuels qu'ils supportent sont vrais aussi. L'énoncé que c'est une loi que tous les particuliers qui

> sont F sont G supporte le contrefactuel suivant : si a était F (alors qu'il ne l'est pas), alors il serait aussi G. Si la loi est le cas, alors le contrefactuel est dit vrai. (Armstrong, 1983, p. 46)

L'argument demande d'accorder une valeur de vérité aux énoncés contrefactuels, qui pourtant parlent de situations non-actuelles. Cette supposition est généralement admise, dans la mesure où dès qu'un scientifique monte un dispositif expérimental, dont les résultats sont fonction de conditions initiales selon une loi de la nature, certaines de ces conditions initiales ne sont pas réalisées. Mais le seraient-elles, qu'il faudrait s'attendre à un résultat bien déterminé par la loi de l'instrument. Cette croyance se formule forcément dans un énoncé contrefactuel, que nous sommes encouragés à tenir pour vrai. Tout le problème alors vient de ce qu'en identifiant la loi à une simple régularité empirique, il devient impossible de fonder la vérité du contrefactuel. En supposant que la généralisation « toutes les personnes dans le bâtiment portent une montre au poignet » (l'exemple est d'Armstrong) soit vraie, elle ne fonde absolument pas le contrefactuel : « si la personne A entrait dans le bâtiment, elle porterait une montre au poignet » - et il est heureux qu'elle ne le fonde pas, dans la mesure où cette généralisation nous paraît accidentelle. Mais inversement, il y a des possibilités physiques qui sont comprises dans des lois de la nature, et qui devraient pouvoir faire l'objet d'un énoncé contrefactuel vrai, et qui ne sont pas actuelles. Par exemple, « si l'univers était *x* fois plus massif, alors son expansion prendrait fin et il entrerait en contraction jusqu'à un *big crunch* final » peut être tenu pour vrai (en choisissant le bon *x*). Mais il ne peut pas être supporté par aucune généralisation empirique.

1.1.2.3.L'argument tiré de la modalité du « fait nomologique ».

En quoi les énoncés nomologiques ne peuvent-ils alors pas avoir les mêmes conditions de vérité que des généralisations vraies ? C'est sur ce point que Tooley est utile. Les généralisations empiriques peuvent être vraies *accidentellement* ou *trivialement*, alors qu'on attend d'une loi que sa vérité soit mieux fondée. La vérité d'un énoncé nomologique n'est pas accidentelle comme celle d'une généralisation empirique, qui risque toujours de n'être qu'une « coïncidence cosmique » (Smart, 1985), mais serait « nécessaire » ; en quel sens ?

Ce caractère accidentel ou nécessaire qu'on attache à la vérité des généralisations ou des lois, n'est pas analysable extensionnellement, par une quantification sur des mondes possibles. Tous ces auteurs s'accordent à dire qu'une loi de la nature, prise comme relation entre universaux, n'est pas une « vérité nécessaire » au sens de *vraie dans tous les mondes possibles*. Il se peut très bien que dans un autre monde, un corps en état inertiel se trouve par définition au repos absolu, ou bien en accélération constante (et non en mouvement rectiligne uniforme comme dans notre monde, vu par des lunettes newtoniennes). Si on admet cette possibilité, alors la vérité de la première loi de Newton n'est pas nécessaire au sens de vraie dans tous les mondes possibles. Et ces auteurs pensent que c'est le cas de

toutes les lois de notre monde. On imagine que par ce refus, ils veulent éviter d'offrir une cible trop facile aux empiristes, qui ne manqueraient pas de faire valoir que, comme nous n'avons pas accès à d'autres mondes possibles que le nôtre, alors nous sommes de toute façon incapables de distinguer effectivement une loi d'une généralisation empirique vraie dans notre monde ; ou encore, que cette définition de la nécessité des lois nous engagerait ontologiquement envers l'existence des mondes possibles, ce qui paraît trop coûteux.

C'est ici que s'insère le principal argument que Tooley (1977, 1987) développe en faveur de l'identification des conditions de vérité des lois à des relations entre universaux. L'essentiel de l'argument consiste à prouver que des « faits humiens », c'est-à-dire des états de choses particuliers localisés dans l'espace et le temps, ne peuvent servir de vérifacteurs pour une loi. Ils sont donc des « faits non-nomologiques » au sens où ils ne sont pas ce qui rend vrai un énoncé nomologique. Pour le montrer, Tooley imagine un univers W où il n'y a que deux types de particules, Y et X, qui *de fait* n'interagissent jamais entre elles, bien qu'il existe une loi qui régisse leurs possibles interactions. Cette loi est simplement dépourvue d'instance (positive). Or le fait qu'elle n'est pas d'instance est accidentel, puisque cela ne tient qu'au monde possible W où l'on se situe. Il se pourrait que dans un second monde possible W', où vaut la même loi pour les types X et Y de particules, ces particules interagissent. Donc la vérité d'un énoncé nomologique ne peut pas être décidée par l'existence de ses instances, qui est accidentelle. Il tire la conclusion que les instances d'une loi sont des faits non-nomologiques, qui ne peut servir de vérifacteur pour des énoncés nomologiques. On peut alors généraliser : même une loi qui reçoit une infinité d'instances positives dans le monde actuel, n'est pas vraie en raison de ces instances, parce qu'elles sont des « faits non-nomologiques ».

Une loi ne peut pas être rendue vraie par de simples faits humiens, car ils sont accidentels. Elle peut « avoir cours » même si elle n'a pas d'instances positives ; et même si elle a une infinité d'instances, elle est vraie indépendamment d'elles. Ce qui la rend vraie, et que Tooley appelle les « faits nomologiques », ce sont donc, pour lui, des faits ou des connexions non-accidentels : le fait qu'être une particule de type X *entraîne* d'interagir d'une certaine manière avec une particule de type Y, ou le fait qu'être F *entraîne* d'être G. Ces faits nomologiques sont le cas, même dans un monde où aucun particulier n'est X ou F. L'argument de Tooley va donc plus loin que ceux d'Armstrong : il consiste à dire que nous ne pouvons pas identifier les conditions de vérité des énoncés nomologiques à celles des généralisations empiriques, parce que les secondes sont accidentelles. Au contraire, les énoncés nomologiques sont rendus vrais par des connexions ou des nécessités nomiques.

C'est pour rendre compte de ces connexions nomiques que les universalistes proposent d'identifier les lois à des relations entre universaux. Ils en tirent un double bénéfice. D'une part, comme des universaux peuvent être reliés dans un monde et pas dans un autre, identifier une loi à une relation entre universaux permet d'éviter le nécessitarisme mentionné plus haut, qui fait des énoncés nomologiques des vérités nécessaires (au sens extensionnel). Mais en même temps, ils conservent

quelque chose de la modalité de nécessité : selon eux, une loi conçue comme relation entre universaux *entraîne* une généralisation empirique correspondante. Si une loi relie l'universel F à l'universel G, alors dès qu'un particulier a est F, nécessairement il est G en vertu de la loi. Ce « nécessairement » capturent adéquatement, selon eux, le fait qu'une loi « gouverne » ou « régisse » les phénomènes particuliers.

1.2.La théorie DTA des lois de la nature et le problème de la nécessitation.

Nous devons maintenant définir plus précisément la nécessitation nomique (section 1.2.), car c'est sur sa conception que se concentrent les critiques de Bas van Fraassen (section 1.3.). Pourquoi des relations entre universaux sont-ils des états de fait *nomologiques* ? Autrement dit, pourquoi seraient-ils de bons vérifacteurs pour les énoncés nomologiques, et pourquoi une relation N entre les universaux F et G permettrait-elle de « gouverner » ce qui se passe au niveau des particuliers qui sont F et G ?

1.2.1. La nature de la nécessitation nomique.

Cela tient à la nature même des universaux. Pour mémoire, un universel est défini comme une propriété qui s'instancie dans des particuliers, et qui est absolument identique à travers toutes ses instanciations (Armstrong, 1983, p. 83). Cette identité de l'universel à travers toutes ses instanciations prête aux universaux le pouvoir d'apporter avec eux, dans toutes leurs instanciations particulières, les rapports qu'ils ont avec d'autres universaux. Ce qui nous intéresse alors dans les universaux, en tant que porteurs de la nomicité, c'est cette capacité qu'ils ont de nécessiter en s'instanciant dans les particuliers. Un énoncé nomologique vrai est une vérité à propos de certains universaux. C'est une vérité tout aussi factuelle qu'un énoncé particulier qui réfère à un état de fait humien. La relation N entre universaux compose un état de chose tout aussi contingent que les états de choses particuliers d'ordre 1. Mais puisque les universaux F et G sont entièrement ce qu'ils sont dans toutes leurs instanciations, elle est « nécessairement » reconduite au niveau de leurs instanciations, de telle sorte que dès que F(a) alors il « doit » se faire que G(a). La « nomicité » tient donc tout entière à cette nécessité qui s'impose aux particuliers au moment où ils instancient les universaux.

Cette analyse de la nécessitation nomique présente deux avantages pour l'universaliste. *Premièrement*, elle explique la nécessité nomique sans qualifier modalement les états de choses eux-mêmes ; et par conséquent, elle n'a aucun besoin d'une sémantique des mondes possibles. En effet, la loi nécessite des états de choses particuliers, observables dans l'espace et le temps, sans pour autant qu'il y ait, à un ordre ou à un autre, une vérité nécessaire : ni le fait nomologique, ni le fait humien, ne sont des vérités nécessaires. Aucun des deux ne devraient être le cas dans tous les mondes possibles. Mais le fait nomologique nécessite une collection de faits humiens correspondants, et cette nécessitation s'analyse intégralement comme un rapport entre deux niveaux ou ordres : le premier ordre qui est celui

des particuliers, le second qui est celui des universaux. En étant instanciés dans les particuliers, les universaux reconduisent nécessairement toutes les vérités qui les concernent.

Deuxièmement, la relation de nécessitation ainsi définie possède apparemment les propriétés requises pour fonder une *explication* des phénomènes. En particulier, l'état de fait nomologique entraîne la généralisation empirique, mais l'inverse n'est pas le cas. Un énoncé universel exprimant une régularité observable n'entraîne pas un énoncé nomologique correspondant, parce que la relation de nécessitation entre l'état de fait nomologique et la collection des faits humiens n'est pas réciproque. En revanche, l'accumulation des faits empiriques semblables, la répétition des mêmes schémas (*pattern*) phénoménaux, permet la confirmation inductive de l'existence d'une loi. Car si l'existence d'une loi, comme relation instanciée entre universaux, explique adéquatement la régularité, alors l'observation de cette régularité confirme l'hypothèse de la loi.

Si cette théorie de la nécessitation nomique paraît claire, on peut être surpris des façons embarrassées dont les universalistes la formulent dans leurs textes. Tooley écrit :

> Étant donnée la relation qui existe entre les universaux et les particuliers qui les instancient, toute propriété possédée par un universel, ou toute relation entre universaux […] sera *reflétée* par des *faits correspondants* impliquant les particuliers qui instancient ces universaux. (Tooley, 1977, p. 673)

Mais en vertu de quoi la relation entre universaux *doit* être présente ou « reflétée » entre leur instanciations ? Dretske a tenté une analogie juridique pour expliquer comment une relation contingente entre universaux peut « nécessiter ». Dans un État de droit, une Constitution définit les relations entre les différents pouvoirs ou institutions. Mais elles restent contingentes, puisqu'un pays peut bien changer de Constitution. Pourtant, tout individu qui instancie un rôle défini dans la Constitution est soumis à des obligations (juridiques) à l'égard des autres individus occupant d'autres places définies dans le même texte. Par exemple, l'article 8 de la constitution de la Vème République Française dit que « le Président de la République nomme le Premier Ministre ». Par conséquent, Emmanuel Macron doit nommer quelqu'un comme premier ministre, parce qu'il instancie le rôle du Président.

Cette analogie est éclairante, mais pour cette raison même suspecte : elle consiste à éclairer le sens métaphorique d'un terme par son sens premier et littéral. Le concept de « loi » s'est installé en science et en épistémologie à l'époque moderne, pour désigner les « lois de la nature », mais il provient du domaine juridique. La notion, d'abord métaphorique, de « lois de la nature » est liée à la figure religieuse d'un Dieu octroyant à la nature ses « lois » comme un Roi décrète le droit en son royaume. Mais expliquer la nature « nécessitante » de la loi physique par analogie avec la loi juridique, c'est éclairer la métaphore par le sens littéral, comme on expliquerait ce qu'on entend par « Dieu artisan » en ayant recours à l'image de l'horloger… La nature de la nécessitation nomologique n'en est pas mieux comprise, car il reste à déterminer en quoi la transposition du concept juridique de loi est pertinente en

épistémologie et ontologie des sciences. Les lois juridiques sont effectives et s'appliquent aux individus parce que ces individus ont connaissance de ces lois et sont reconnus comme instanciant certains rôles décrits par ces lois. Emmanuel Macron sait qu'il est un Président de la République, et tant qu'il est reconnu comme tel, cette reconnaissance le fonde à nommer un Premier Ministre, dissoudre l'Assemblée Nationale, en application de la loi. Mais dans le domaine des particuliers naturels et des processus physiques, auxquels on ne peut pas attribuer cette capacité de reconnaissance consciente, cette application de la loi est beaucoup plus difficile à concevoir.

1.2.2. La tentative d'Armstrong.

(Armstrong, 1983) affirme qu'on ne peut pas rendre compte de la nature de cette relation de nécessitation, qui doit être posée comme primitive, de la même façon que Platon postule dans le *Phédon* qu'une Forme apporte avec elle une autre Forme dans un particulier (p. 92). Si bien qu'il élève cette idée au rang de « Principe de Descente aux particuliers de premier ordre », qui s'énonce ainsi :

> Pour toute propriété ou relation d'ordre N (N>1), elle n'est pas simplement instanciée par des universaux d'ordre N-1, mais est reflétée dans les particuliers tombant sous ces universaux, et ainsi suite jusqu'en bas que soient atteints les particuliers de premier ordre. (Armstrong, 1978b, p. 171)

Il y a néanmoins un problème lorsqu'on juxtapose ce dernier principe avec le « principe de victoire de la particularité », qui énonce que l'instanciation d'un universel donne un état de choses particulier. Ce principe pose un problème à l'ontologie des lois de la nature, problème dont Armstrong s'est manifestement rendu compte. Si on le suit à la lettre, et qu'on postule qu'une loi de la nature est l'instanciation d'une relation N par des universaux F et G, alors elle est l'instanciation d'un universel (N) qui doit donner un état de choses N(F,G) *particulier*. On peut concevoir N(F,G) comme un fait éclaté et dispersé, identifié à la collection des conjonctions F(a)^G(a). Le principe de victoire de la particularité implique donc que la loi est un fait particulier ou une collection de faits particuliers. Mais si c'est le cas, alors toute l'entreprise universaliste échoue, car elle finit par identifier le vérifacteur de l'énoncé nomologique à un fait particulier, et non à un aspect universel de la nature. La théorie universaliste perdrait tout avantage par rapport à la position régulariste. De plus, une victoire si assommante de la particularité dans le cas des lois rendrait le « principe de descente aux particuliers » trivial : la loi n'aurait pas à « descendre » aux faits particuliers, puisqu'elle en serait déjà un.

C'est pourquoi en 1983 Armstrong change explicitement d'avis à propos de la victoire de la particularité, en affaiblissant le principe. Il pense maintenant que si les universaux F et G instancient la relation N, alors l'état de choses N(F,G) ainsi formé est un particulier, mais pas de premier ordre (c'est-à-dire pas un fait particulier humien), mais de deuxième ordre. Or, ajoute-t-il, un particulier de deuxième

ordre est à son tour un universel de premier ordre, susceptible d'être instancié plusieurs fois par des particuliers de premier ordre : « Mais un particulier de deuxième ordre est un universel de premier ordre. Précisément le résultat qu'on voulait. N(F,G) serait un universel de premier ordre, *et ses instances seront les instanciations positives de la loi* » (p. 89, nous soulignons). C'est précisément ainsi qu'Armstrong conçoit la façon dont une loi est « reflétée » par ses instances : elle est instanciée comme un universel de premier ordre. Or c'est exactement sur ce point que pourra porter la critique de van Fraassen.

Avant d'y venir, nous devons bien distinguer deux analyses distinctes de la « nécessitation », selon qu'elle repose ou non sur la nature précise de la relation N. La « nécessitation nomique » repose-t-elle sur la *nature* de la relation N entre les universaux (« relation de nécessitation » chez Tooley, « relation causale singulière » chez Armstrong, relation « → » chez Dretske, etc.), ou bien suffit-il que F et G soient des universaux, pour que ce qui est vrai d'eux doive « automatiquement » être vrai de leurs instances ? Dans le second cas, il importe finalement peu de savoir précisément ce que l'on affirme de ces universaux quand on dit qu'une relation « N » tient entre eux. « N » ne signifiera d'ailleurs plus « Nécessitation », mais « Nomologique ». C'est leur nature métaphysique d'universaux qui garantit que la loi ainsi identifiée doit être le cas au niveau de leurs instanciations. Mais dans le premier cas, une analyse de la nature de la relation de nécessitation qui tient entre les universaux est indispensable, en particulier si elle doit avoir quelque rapport avec les relations de causalité qui peuvent avoir lieu entre les instances des universaux, c'est-à-dire entre les propriétés instanciées. Il faut donc séparer notre critique de la position universaliste, selon qu'elle fait reposer la nécessitation sur l'instanciation en tant que telle des universaux, ou bien sur la nature physique particulière d'une relation nomique « N »[85].

Dans ce travail, nous ne traiterons que le premier cas, en examinant l'hypothèse d'une nécessitation nomique qui tient seulement à *l'instanciation* de la loi dans les particuliers. Car c'est en ce point précis que Bas van Fraassen voit un tour de passe-passe logique, quand les universalistes n'y voient qu'une suite de la nature même des universaux en général.

1.3. Van Fraassen et le problème de l'inférence

D'après la thèse de la nécessitation nomique, ce qui est une vérité de fait concernant les universaux s'impose comme une vérité nécessitante au niveau des particuliers. Il est vrai que F → G, c'est un fait en ce qui concerne les universaux. Mais F(a) *entraîne* G(a) selon cette nécessité nomique, en vertu seulement de la relation « N » ou « → » qu'il y a entre les universaux F et G en tant que tels. C'est sur ce dispositif *d'entraînement* (*yielding*) que Bas van Fraassen concentre ses critiques.

---

[85] (Tooley, 1987) fait nettement cette distinction, dans la mesure où il fait reposer son analyse de toute loi de la nature sur une relation N prise comme une entité théorique, inobservable et inconnue pour elle-même (il applique à l'énoncé nomologique une « ramseyfication »). Ce n'est que séparément qu'il propose une analyse « spéculative » de la nature de cette relation, en avançant qu'une loi est une relation méréologique entre deux universaux F et G. L'énoncé « C'est une loi que tout ce qui est F est G » désignerait le fait que l'universel F est une partie de l'universel conjonctif F^G.

Il élabore un dilemme qui met particulièrement en difficulté l'analyse des lois par le réalisme des universaux. Selon lui, toute théorie des lois de la nature doit résoudre à la fois deux problèmes distincts. Le *problème de l'identification* demande de spécifier ce qu'il faut entendre par « loi de la nature », et de ne jamais se contenter d'un concept primitif de « loi ». En particulier, il s'agit de ne pas simplement dire que les lois sont des relations entre universaux, mais de dire *quel* type de relation elles sont. Nous ne sommes pas convaincus, pour notre part, qu'il soit nécessaire à l'universaliste de préciser la nature de la relation « N ». L'identification de la loi à un état de fait impliquant des universaux suffit à étayer sa position. Le *problème de l'inférence*, ensuite, exige que l'analyse de la nature de la « loi » rende compte aussi de l'utilité épistémologique des lois quand elles permettent d'expliquer des phénomènes observés, de prédire des résultats expérimentaux, etc. En particulier, il s'agit d'assurer que la loi comme relation entre universaux entraîne bien le genre de régularités phénoménales qu'on veut, dans les faits, expliquer grâce aux lois.

On peut résumer ainsi la double exigence formuler par Bas van Fraassen : parvenir à donner les conditions précises de vérité de l'énoncé nomologique, sans lui retirer tout pouvoir explicatif, c'est-à-dire la capacité dans laquelle nous met cet énoncé *d'inférer* un certain nombre d'autres, en l'occurrence « ce qu'il faut expliquer ». Selon Bas van Fraassen, on ne peut pas résoudre l'un des deux problèmes sans se rendre incapable de résoudre l'autre. En particulier, comme les universalistes choisissent d'expliciter en premier lieu les conditions de vérité de l'énoncé nomologique, en identifiant la loi à un état de fait concernant des universaux, c'est le problème de l'inférence qui doit se poser. En refusant d'identifier les lois à des énoncés empiriques universels et vrais (des généralisations humiennes), les universalistes se privent du même coup de la façon la plus évidente de résoudre le problème de *l'inférence*. Si en effet on dit que la loi consiste en une relation d'inclusion extensionnelle I entre les deux propriétés F et G, qui se définit ainsi : I(F,G) si et seulement si pour tout x, si F(x) alors G(x), alors on ne dit rien de plus que « Tout x qui est F est G » ; et cet énoncé nomologique implique la généralité empirique en question, puisqu'il s'y réduit. Le problème de l'inférence n'existe pas pour le régulariste, puisqu'on peut inférer de la régularité chacun de ses cas particuliers.

On sait les raisons qui poussent les universalistes à refuser cette approche, au premier rang desquelles figure le besoin pour une loi d'expliquer les régularités empiriques, et donc de ne pas s'y réduire. L'inférence en question doit être *explicative*, et par conséquent la loi ne peut pas être identifiée logiquement à la généralisation humienne, dont elle doit plutôt être le fondement ontologique. A ce compte, la relation entre universaux doit être *plus* qu'une relation d'inclusion extensionnelle entre *instances* de propriétés, mais une relation entre les *propriétés en tant que telles*. Mais en identifiant ainsi la loi à une relation d'ordre supérieur, on rend insoluble le problème de l'inférence, car au nom de quoi une relation portant sur des universaux devrait-elle se transposer entre leurs instances particulières ?

On touche ici à la pointe de la critique de Bas van Fraassen. En ce point, l'universaliste n'a ultimement que deux possibilités : soit il verse dans le nécessitarisme en supposant que la relation entre

les universaux est nécessaire, et que par conséquent la loi est un état de fait réalisé dans tous les mondes possibles, soit il fait de la nécessitation une sorte de pouvoir logique obscur, exhibé par les universaux au moment où ils s'instancient. Or les universalistes entendent bien éviter le nécessitarisme, puisque pour eux la vérité nomologique est contingente. Une loi dans notre monde n'est pas une loi dans tous les mondes possibles. Mais que signifie alors « nécessairement » dans : « F(a) entraîne nécessairement G(a) en vertu de la relation entre F et G » ? Dans quelle mesure peut-on faire dériver la connexion qui enchaîne des propriétés instanciées, de la loi qui noue des universaux, sans faire de cette nécessité une sorte de « pouvoir logique » dont serait mystérieusement dotée l'instanciation ?

1.3.1. Le cas de Tooley.

Bas van Fraassen commence par le traitement que donne Tooley des lois de la nature, certainement parce qu'il est le premier à aller aussi loin dans la résolution du problème de l'identification – et donc à rendre plus insoluble encore celui de l'inférence. (Tooley, 1987) identifie une loi de la nature à une relation N strictement d'ordre 2, c'est-à-dire qui ne relie que des relations ou propriétés d'ordre 1. N est contingente (les universaux pourraient ne pas l'instancier) et irréductible à une généralisation empirique. Selon lui l'énoncé selon lequel certains universaux d'ordre 1 sont liés par N entraîne que les instances particulières de ces universaux sont liées par une certaine autre relation *n* correspondante à N, qui enchaîne nécessairement les propriétés instanciées ; c'est-à-dire :

Si N(F,G), alors nécessairement*, pour tout x, n(F(x),G(x)).*

Mais pourquoi une relation identifiée comme cette « N » a-t-elle le pouvoir d'entraîner l'énoncé universel vrai pour toutes les instances de F ? Rappelons-nous de la relation I d'inclusion extensionnelle dont nous parlions plus haut : « I(F,G) » implique bien que tous les F soient G, précisément parce que cette relation I n'est pas purement et strictement d'ordre 2, mais sa définition quantifie aussi bien sur les universaux que les particuliers. On dit en effet que F est « inclus extensionnellement » dans G si tous les *x* qui sont F sont aussi G. La relation I est donc impure et en réalité réductible à l'énoncé universel lui-même. Mais pour l'universaliste la loi ne peut pas être réduite à sa conséquence universelle. Il faut donc que la relation nomique soit *purement et strictement* d'ordre 2. Dans ce cas, rien dans sa nature ne semble pouvoir entraîner quoi que ce soit concernant des ordres inférieurs… Bas van Fraassen écrit :

> Mais dans ce cas, […] l'implication (entailment) qui est demandé ne peut pas être l'implication logique, de la même façon qu'un fait qui ne concerne que des parents ne peut rien impliquer logiquement concernant leurs enfants. […] Donc l'implication ne peut pas être une affaire de logique. Qu'est-elle alors, une concomitance nécessaire ? D'un type non-logique ? (Van Fraassen, 1989, p. 102)

Comment la relation N peut-elle « entraîner » quoi que ce soit concernant les instances des universaux qu'elle relie ? Comment rendre compte du fait que des universaux, *en s'instanciant, imposent* aux particuliers les relations qui pourtant ne les concernent qu'eux ? Dans un État de droit, la loi s'applique par le consentement des individus, qui ont la capacité de se représenter la loi, de la juger bonne ou de s'imaginer les conséquences pour eux de sa violation. C'est dans l'esprit des sujets de la loi que se noue la relation entre leur situation particulières et la généralité de la loi, par leur *accès* conscient à la loi. Mais si le fondement de la loi est un pouvoir ou une disposition des individus, alors on s'éloigne franchement de la position universaliste[86]. Si on ne veut pas non plus verser dans le nécessitarisme, ni la faire reposer sur un mystérieux pouvoir logique de l'instanciation, il faut expliciter cette relation d'« entraînement » comme une nouvelle constante non-logique. Il faut postuler une relation impure N' d'ordre 3, qui relie la relation N (d'ordre 2) et les universaux F et G (ordre 1), et qui est telle que :

Si N(F,G), et N'(N,F,G), alors nécessairement *pour tout x, n(F(x),G(x)).*

En proposant cela, Bas van Fraassen ne fait que prolonger le geste des universalistes qui prétendent expliquer une nécessité qui vaut entre particuliers d'ordre 1 par une relation contingente entre particuliers d'ordre 2, c'est-à-dire entre universaux. Pour expliquer la nécessité qui a lieu entre les universaux et leurs instanciations, il faut postuler une relation qui la fonde depuis un ordre encore supérieur. Mais dans ce cas, comment expliquer le « nécessairement » ? Le même problème est reconduit à l'identique, un ordre au-dessus : il faut donc, pour reconduire la même solution, postuler une relation N'' d'ordre 4, telle que… On ne peut pas éviter une *régression à l'infini* qu'il nomme « Régression du législateur ».

Résumons ainsi le dilemme posé par Bas van Fraassen. L'approche universaliste des lois les *identifie* à une relation N entre universaux F et G. Le vérifacteur d'un énoncé nomologique n'est pas une généralisation empirique (une collection de faits humiens particuliers), mais un état de fait N(F,G) concernant les universaux F et G. Mais en l'identifiant à cet ordre supérieur, comment la loi permet-elle *d'inférer* la généralisation empirique ? Soit on verse dans une forme ou une autre de *nécessitarisme* – par exemple en avançant que la loi est une vérité nécessaire à propos de ces universaux, dont les instanciations dans les particuliers leur transmettent des propriétés nécessaires ; soit on prête à l'instanciation des universaux une sorte de *pouvoir logique* totalement mystérieux, de calquer entre les

[86] Il n'est pas exclu, d'ailleurs, que la position universaliste ait besoin de s'appuyer sur des propriétés dispositionnelles ou causales locales pour rendre compte de l'instanciation de la loi. D'une façon ou d'une autre, il faut bien qu'un particulier en instanciant une propriété « appelle » à lui tout ce qui vaut de cette propriété en tant que telle. Pour la position dispositionaliste sur les lois, voir (Bird, 2005).

instances des relations qui ne sont données qu'entre universaux. La seule façon d'éviter le dilemme est de faire appel à une nouvelle loi pour rendre compte de l'application de la première… ce qui nous entraîne dans une régression vicieuse.

1.3.2. Le cas d'Armstrong.

Armstrong évite-t-il cette régression ? Il ajoute une clause à la théorie hiérarchisée des universaux, qu'il appelle « Principe d'instanciation » : tout universel doit être instancié par au moins un état de choses actuel (*cf* chapitre I, section 3.1.2.). Par conséquent, veut croire Armstrong, la relation N n'a pas besoin d'être « collée » aux particuliers F(a) et G(a) par une autre relation N' pour former l'état de chose *n*(F(a),G(a)). En tant qu'universel, une relation n'existe que « dans » des états de choses particuliers. Est-ce que ce « Principe » suffit à combler la lacune inférentielle mise au jour chez Tooley, et justifier la connexion entre la relation N entre universaux et la relation *n* entre leurs instanciations ?

Le seul élément qu'apporte le Principe d'Instanciation est l'obligation pour tout universel d'être instancié. N(F,G) est certes l'instanciation de N par F et G, mais cet état de chose est à son tour un universel d'ordre 1, qui doit être instancié, selon Armstrong, dans les particuliers de premier ordre. Il existe donc un *état de chose* [N(F,G)](F(a),G(a)) qui est l'instanciation de l'universel N(F,G) par la paire (F(a),G(a)). La question est donc de savoir si le Principe d'Instanciation est suffisant pour dire :

Si N(F,G), F(a) et G(a), alors [N(F,G)](F(a),G(a))

C'est évident pour Armstrong. L'inférence est « automatique », et il n'y a rien de mystérieux à ce que le particulier qui est subsumé sous l'universel instancie ses propriétés, et donc y compris ses relations à d'autres universels :

> Il est clair que si une telle relation [N] vaut entre les universaux, alors automatiquement chaque particulier F se détermine comme G. Il ne s'agit ici que de l'instanciation de l'universel [N(F,G)] dans des cas particuliers. La prémisse de l'inférence [c'est-à-dire l'universel N(F,G)] représente la loi, un état de chose, qui est simultanément une relation. La conclusion représente l'uniformité qui résulte automatiquement de l'instanciation dans ses particuliers. (Armstrong, 1983, p. 97)

Mais pour Van Fraassen, derrière cette implication « automatique » se cache un tour de passe-passe logique. Il n'y a tout simplement pas de rapport entre une relation qui a lieu entre des universaux, et les relations qui tiennent entre leur instances. Ce rapport, nécessaire à l'inférence, tient soit d'un « pouvoir logique » assez obscur qu'il faudrait concéder aux vérités concernant les individus logiques de 2ème ordre (les universaux), soit d'une loi de la nature, ce qui ouvre la régression du législateur. Si la

loi est un certain fait concernant les universaux, on ne voit donc pas en quoi ce fait explique la régularité empirique, et en vertu de quelle nécessité cette dernière est entraînée par le premier :

> Une analyse précise révèle que la lacune dans l'inférence n'a été comblée que si nous acceptons de prendre nos désirs pour des réalités […] Il n'y faudra rien de moins qu'un postulat pur et simple, puisqu'il n'existe pas de connexion logique entre des relations entre universaux et des relations entre leurs instances. (Van Fraassen, 1989, p. 107)
>
> Ce « nécessaire » dans « est rendue nécessaire » [qui entre dans la forme syntaxique de la loi] relève-t-il de la logique ou non ? Dans le premier cas, ce qu'on nous propose comme modèle d'explication [de la nécessitation en vertu de la loi] relève de la *virtus dormitiva* de Molière. Dans le second cas, nous atterrissons de nouveau dans la régression du législateur. (Van Fraassen, 1989, p. 127)

L'attaque de van Fraassen contre les positions universalistes est implacable. En refusant la thèse régulariste, c'est-à-dire la réduction de la « loi » à une régularité empirique, les universalistes ne peuvent plus inférer de la loi la régularité empirique qu'elle doit expliquer. Pour identifier la « loi » à autre chose qu'une simple régularité, ils font appel à des propriétés d'ordres logiques supérieurs que les particuliers *doivent* (régulièrement) instancier. La loi leur apparaît comme un état de fait concernant des universaux de premier ordre (c'est-à-dire des particuliers de 2ème ordre). C'est finalement cet étagement logique, utile pour résoudre le problème de l'identification, que van Fraassen oppose à toute tentative de résolution du problème de l'inférence.

1.3.3. La réponse d'Armstrong.

En insistant sur cet étagement des ordres logiques, van Fraassen passe en partie à côté de l'intuition proprement *métaphysique* qui est en jeu dans la position universaliste ; c'est bien la raison pour laquelle Armstrong a répondu à sa critique, en avançant la *nature métaphysique* des universaux comme solution pour ainsi dire immédiate au problème de l'inférence. (Armstrong, 1993b) pousse *l'identification* de la loi beaucoup plus loin que dans son livre de 1983, en donnant des précisions radicales sur la nature de la relation N de nécessitation entre les universaux : c'est une relation *causale singulière* entre les universaux F et G, conçus comme des types d'états de choses, qui est effective à chaque fois que F est instanciée. Mais regardons surtout comment il essaie de résoudre le problème de l'inférence :

> Si on est satisfait de cela, qui est l'étape la plus critiquable de l'argument [l'identification de la loi à une relation causale entre un type de causes et un type d'effets], alors il semble que le problème de l'inférence est résolu. Car si un certain *type* d'états de choses a certains effets causaux, alors comment les tokens de

> ce type ne devraient-ils pas causer des tokens de l'effet ? L'inférence est analytique ou conceptuelle. (Armstrong, 1993b, p. 422)

Sa solution au problème de l'inférence consiste à présenter les universaux comme des types, dont les instanciations sont des tokens. Bas van Fraassen aurait tort d'assimiler cette réponse à une répétition du Principe (aristotélicien) d'Instanciation, dont il a montré qu'elle n'était pas suffisante pour régler le problème de l'Inférence. Il y a deux points à commenter.

Premièrement, l'appel à la notion de type précise le problème de l'inférence. Depuis (Wolheim, 1980), on considère que le type transmet ses propriétés à ses tokens. On dit que la propriété *p* est transmise si A possède *p* en vertu seulement du fait que B la possède. Le problème de l'inférence se reformule alors comme un problème de transmissibilité des propriétés des types F et G à leurs tokens particuliers. Pourquoi l'état de choses F(a) devrait-il causer nécessairement G(a), c'est-à-dire être en relation *n* avec G(a), en vertu seulement du fait que la relation de nécessitation causale tient entre F et G : N(F,G) ? Autrement dit, la relation N est-elle transmissible ? La réponse pour Armstrong semble être évidemment positive.

Deuxièmement, Armstrong a entièrement basculé vers une conception des universaux comme types d'états de choses, et on sait également qu'Armstrong a développé initialement la notion de type d'états de choses en solution aux problèmes soulevés par Lewis concernant les universaux structuraux (*cf* chapitre 1, section 3.2.2.2.). Or, l'un de ces problèmes était celui de la « co-instanciation », qui ressemble de très près à celui soulevé par Bas van Fraassen. Comme Lewis l'écrit :

> C'est là que se trouve la magie. Pourquoi faudrait-il que si quelque chose instancie *méthane*, alors certaines de ses parties doivent instancier *carbone* ? […] Selon la conception magique, cette connexion est seulement un fait modal brut. […] Certes, il n'y a pas deux universaux qui méritent ces deux noms si le premier n'entraîne pas le second avec lui, c'est-à-dire s'il n'est pas nécessaire d'une manière ou d'une autre, entre autres, que chaque instance du premier contienne une instance du second dans sa partie centrale. Bien sûr. Mais notre question est : comment deux universaux – des universaux compris comme atomiques – peuvent-ils mériter ces noms ? Comment deux universaux, que nous pourrions d'abord appeler par des noms neutres comme « Matthieu » et « Carl », peuvent-ils possiblement entrer dans la connexion nécessaire qui nous autoriserait à les appeler « méthane » et « carbone » à la place ? (Lewis, 1986b, p. 41)

Pour Lewis, il est clair qu'il y a une connexion nécessaire entre ces instances dont il s'agit de rendre compte. Comme l'universel carbone fait partie de l'universel méthane, il *doit* être le cas que toute instance du méthane est accompagnée d'une instance du carbone. Mais toute sa critique consiste à dire qu'il ne trouve, ni chez Armstrong ni nulle part ailleurs, aucune conception satisfaisante des universaux qui permet de le faire. A première vue, il n'est pas prudent de relier ce problème avec celui de la

nécessitation nomique, dans la mesure où il s'agit dans l'exemple de Lewis d'une connexion tout-partie, qui est une nécessité *simpliciter*, ce qui n'est peut-être pas le cas de la nécessité nomique. Mais il est clair que pour Armstrong, ce qui vaut des types d'états de choses (qu'ils sont dans une relation nomologique causale N) vaut *nécessairement* de leurs instances, et qu'elles *doivent* donc elles-aussi être causalement connectées. Mais on s'aperçoit du même coup que le « nécessairement » et le « doivent », dans la phrase précédente, n'ont pas grand'chose à voir avec la nature de N (qu'elle soit une relation de nécessitation ou de causalité, ou de partie-tout). Et c'est précisément cette nécessité-là qui est interrogée dans le problème de l'inférence, et qui relève pour Lewis d'une conception magique des universaux et de leurs instanciations. Remplacer les universaux par les types ne change donc rien au problème.

Manifestement, il y a là pour Armstrong quelque chose d'évident, qui ne l'est pas pour ses critiques, et le débat tourne au dialogue de sourds. C'est pourquoi, dans la suite, nous proposons une reformulation de la critique de van Fraassen en des termes uniquement ontologiques, afin de mieux coincer la théorie d'Armstrong sur son terrain propre. Le dilemme sera, comme avec van Fraassen, entre le nécessitarisme qu'Armstrong veut éviter, et la régression qui lui est fatale. Mais ironiquement, on s'apercevra que notre critique reprend trait pour trait celle qu'Armstrong lui-même avait formulé contre la théorie des quantités de Bigelow et Pargetter (*cf* chapitre IV section 2.2.2., deuxième critique).

1.3.4. Le problème de la fondation nomique des régularités.

Il y a manifestement un problème dans le dialogue entre van Fraassen et Armstrong, dans la mesure où le premier demande à justifier une relation (entre la loi et ses instances) que le second prend pour « automatique ». Une partie de l'incompréhension tient à ce qu'avec son « problème de l'inférence », van Fraassen demande que soit justifié un raisonnement (une « inférence »), alors que pour Armstrong la relation à considérer est avant tout ontologique ; c'est une relation d'instanciation entre une loi et les particuliers sur lesquels elle s'applique. Nous allons donc modifier la critique de van Fraassen pour la transposer sur le terrain ontologique, non seulement parce que c'est le terrain propre de la théorie d'Armstrong, mais aussi parce que le problème concerne moins l'inférence, que pourrait faire par exemple un scientifique qui veut expliquer une phénomène particulier par la loi qui s'y applique, qu'une relation de fondation. Armstrong entend fonder métaphysiquement les régularités phénoménales sur l'existence de relations entre universaux, et c'est sur ce point qu'il faut l'attaquer.

1.3.4.1.Position du problème.

Commençons par expliciter le cadre ontologique. Le but est d'analyser la relation par laquelle une loi de la nature, conçue comme relation N entre universaux F et G, a effectivement cours et s'applique aux particuliers qui instancient les universaux F et G. Nous pouvons concevoir cette relation

comme une fondation. On dira alors que la loi N(F,G) fonde la régularité (x) F(x) → G(x) si et seulement si, pour tout a qui est F et G, la loi N(F,G) s'applique aux états de choses F(a) et G(a). Mais que signifie que « la loi s'applique » ? Si l'on parle de relation de fondation, cela signifie qu'une connexion nomique *n* relie les états de choses F(a) et G(a) *en vertu seulement de la loi*. Autrement dit :

(A) n(F(a),G(a)) est le cas en vertu du fait que N(F,G), F(a) et G(a) sont le cas.

« *n*(F(a),G(a)) » énonce qu'il y a une connexion nomique *n* entre les deux états de choses qui sont les instanciations par le particulier a des universaux F et G. N(F,G) énonce le fait nomologique qu'il existe une relation N entre F et G. Selon Armstrong, postuler une telle relation entre eux est suffisant pour fonder métaphysiquement la régularité phénoménale. Alors que régulariste humien pense que la loi n'est rien d'autre que cette uniformité, primitive et non-fondée, l'universaliste cherche à la fonder sur l'existence d'une relation entre universaux. Nous devons maintenant examiner si cette relation de fondation est bien le cas, et si Armstrong a raison de la tenir pour « automatique ». Pour examiner la question, nous allons nous demander si la connexion nomique *n* entre les états de choses F(a) et G(a) est interne ou externe, et montrer que dans les deux cas la théorie d'Armstrong ne tient pas.

1.3.4.2.La connexion nomique est-elle interne aux états de choses ?

Il est fort probable qu'Armstrong la conçoive implicitement comme interne, même s'il ne se prononce jamais clairement sur ce point. Mais comme il présente ces états de choses comme des tokens des types F et G, il semble que la connexion nomique entre ces tokens ait lieu en vertu du fait qu'ils sont les tokens de ces types, et donc survienne sur les propriétés F et G qui sont des caractéristiques intrinsèques de F(a) et G(a). La connexion nomique serait donc une relation interne[87]. Mais on s'aperçoit vite qu'Armstrong ne peut pas tenir cette relation pour interne, pour des raisons de cohérence d'ensemble de la théorie DTA. En effet, si on suppose *n* interne, alors elle ne peut pas être le cas entre F(a) et G(a) en vertu d'une relation N *contingente* entre les universaux F et G.

Imaginons un monde humien possible H, qui ressemble parfaitement au nôtre au niveau des phénomènes physiques particuliers, mais qui ne contient pas de loi N(F,G). Dans le monde H, les universaux F et G existent comme chez nous, mais ne sont pas reliés dans une loi. Et tous les particuliers qui sont F (ou G) ici sont aussi F (ou G) là-bas. Soit le particulier a, qui appartient à H et qui est F et G. Y a-t-il dans H une connexion nomique *n* entre F(a) et G(a) ? Si cette connexion est une relation interne, alors ce doit être le cas, puisque ces états de choses présentent les mêmes caractéristiques intrinsèques que dans notre monde. Mais cela signifie alors que cette connexion n'a pas lieu en vertu de la loi N(F,G),

[87] Nous suivons ici la définition que donne Armstrong des relations internes (Armstrong, 1978b, p. 85).

puisque cette loi n'existe pas dans le monde H. Autrement dit, si on suppose que la connexion nomique *n* entre F(a) et G(a) est interne, et si Armstrong tient à ce qu'elle n'arrive qu'en vertu de l'existence d'une loi N(F,G), alors il devrait admettre qu'un tel monde H n'existe pas, et que dans tout monde possible où il y a des particuliers qui sont F et G, il existe une loi de la nature N(F,G). Les universaux F et G devront être reliés par N dans tout monde possible où ils existent, et l'énoncé nomologique deviendrait une vérité nécessaire, contrairement à ce que cherchent le tenant de la théorie DTA. Pour résumer, il est donc impossible d'avoir en même temps :

(i) La connexion nomique *n* interne entre F(a) et G(a)
(ii) *n* étant le cas en vertu seulement de N qui relie F et G
(iii) La relation N contingente entre F et G

Il faudra donc rejeter l'hypothèse (i) et prendre la connexion *n* pour externe, dans la mesure où (ii) et (iii) sont des thèses plus importantes. (ii) exprime ce que l'on recherche, à savoir la relation de fondation entre la loi et la régularité phénoménale. Et (iii) est une proposition fondamentale de la théorie DTA que nous allons examiner maintenant.

1.3.4.3.Pourquoi la relation N est-elle externe à F et G ?

Pourquoi est-il si important pour les théoriciens DTA que la relation nomologique N entre F et G soit le cas de façon contingente ? Depuis l'article de Dretske, il est admis que la vérité nomologique doit être contingente, et que l'énoncé nomologique n'affirme pas un fait nécessaire. La loi, comme relation entre universaux, n'est pas le cas dans tous les mondes possibles : il y a des mondes où F et G ne sont pas reliés par N. Dans chacun d'eux, il se peut très bien que tous les particuliers qui sont F sont aussi G, mais aucune loi ne fonde cette régularité. Tooley et Armstrong ont ensuite ajouté l'idée selon laquelle si elle était contingente, la relation N devait aussi être externe entre les universaux F et G.

Armstrong est convaincu que les lois de la nature, pour être des vérités contingentes qu'il serait bien impossible de découvrir *a priori*, doivent consister en des relations *externes* entre universaux. Les relations *internes* surviennent entre leurs *relata* en vertu seulement de leur nature intrinsèque. Elles ne sont donc pas, pour Armstrong, d'authentiques relations ; elles ne sont « rien en plus et au-dessus des universaux reliés eux-mêmes », et en connaissant la nature de F et G, on pourrait déduire qu'ils sont dans une relation interne N. Seules des relations *externes*, qui sont authentiquement d'un ordre supérieur à leurs *relata*, peuvent donc n'être découvertes qu'*a posteriori* :

> Pour parvenir à cette conclusion, ma façon de raisonner a une saveur irlandaise. S'il peut être montré *a priori* que deux universaux doivent entrer dans une certaine relation, alors il n'existe aucune relation dans

> laquelle ils puissent entrer. Une connexion nomique entre universaux, en revanche, ne peut pas être établie *a priori*. Elle doit être découverte *a posteriori*. Par conséquent, les lois de la nature peuvent être traitées comme des relations irréductibles de second-ordre, comme d'authentiques relations entre universaux. (Armstrong, 1983, p. 84)

Si seule une relation externe est une authentique relation entre universaux, « authentique » signifiant ici l'irréductibilité de la relation à ce que sont les universaux eux-mêmes, et que seules des relations irréductibles à la nature des universaux peuvent composer des états de fait *contingents*, et comme les lois de la nature sont des états de fait contingents entre universaux, alors les lois de la nature ne peuvent être composées que par des relations *externes* entre universaux.

Tooley présente un argument à la « saveur » différente, mais pour en arriver à la même conclusion. Il faut concevoir des relations qui sont à la fois externes et néanmoins d'authentiques relations entre universaux, irréductibles aux faits concernant les particuliers qui les instancient. Or cela paraît bien plus problématique à Tooley qu'à Armstrong :

> Nombreux sont ceux qui doutent sérieusement de la possibilité de relations *externes* qui seraient d'authentiques relations, qui tiennent *simplement* entre les universaux. Et c'est précisément de relations de cette dernière sorte que nous avons besoin pour notre analyse des lois. (Tooley, 1987, p. 108)

Par exemple, la relation I de co-instanciation entre la propriété « être un corbeau » et « être noir » est une relation entre universaux, mais elle est réductible à une relation externe entre leurs instances. La relation de ressemblance entre universaux, en revanche, est irréductible à des faits concernant leurs instances, elle est donc « authentique », mais *interne*. « Authentique » pour une relation ne signifie pas comme chez Armstrong que la relation est irréductible aux universaux qu'elle relie, mais qu'elle concerne bien les universaux, et non en réalité leurs instances. Une relation authentique entre universaux est irréductible à une relation entre les instances de ces universaux.

Tooley n'explique pas du tout pourquoi une relation externe entre universaux ne serait pas authentique, ou inversement, pourquoi une relation authentique entre universaux devrait leur être interne. On ne peut que supposer que le terme « externe » connotant une extériorité spatiale, et comme les relations spatiales sont l'exemple paradigmatique de relations externes, parler de relations externes entre universaux semble les situer dans l'espace, et donc les réduire à des collections de particuliers. Mais il est regrettable que Tooley n'explicite pas les raisons pour lesquelles *d'authentiques* relations *externes* entre universaux seraient si difficiles à admettre, car c'est un point crucial qui touche précisément la nature de la nécessitation nomique. Si N est interne entre F et G, alors la loi est un fait nécessaire, qui est le cas dans tous les mondes possibles où il y a les universaux F et G. Il faut donc que la relation de nécessitation nomique soit externe car elle est contingente. Mais il faut pourtant qu'elle

« règne » sur les particuliers, et ne soit pas réductible à une connexion constante entre faits humiens. Donc il faut la concevoir comme une « relation externe entre universaux », ce que Tooley finit par admettre, en avançant qu'il n'y a finalement aucune incohérence dans ce concept.

Si on l'admet, alors on ne peut pas non plus rejeter (iii). Il n'est pas non plus acceptable de rejeter (ii), car il s'agit de la relation de fondation entre la loi et le fait particulier qu'elle gouverne, qui est le point le plus important de la théorie universaliste des lois. Il faut donc rejeter cette première hypothèse (i) et considérer la connexion nomique entre états de choses particuliers comme externe.

1.3.4.4.La connexion nomique est-elle externe aux états de choses ?

Nous avons donc N externe entre F et G, et une connexion nomique *n* externe pour chaque paire de leurs instanciations. Le caractère externe de *n* n'est finalement pas si choquant, si l'on s'aide d'une métaphore. Imaginons que notre monde contienne un démiurge, une intelligence qui a accès, quelque part dans le ciel des universaux, à un tableau de commande très spécial. Sur un clavier, elle peut écrire des formules avec quelques opérateurs très simples, et pour seuls termes non-logiques les prédicats de ces universaux. Il n'y a aucun moyen pour le démiurge de parler des particuliers spatiotemporels (de premier ordre). Mais en appuyant sur la touche « exécuter », une formule bien écrite est immédiatement traduite par un fait concernant les universaux qu'elle dénote. Ce démiurge commande donc les faits de deuxième ordre. Dans sa régie céleste, il n'a qu'un contrôle indirect des processus physiques particuliers, mais il peut faire et défaire les lois de la nature[88]. Prenons maintenant les universaux F et G, dans une situation initiale où ils ne sont aucunement reliés, et où certains particuliers sont F, d'autres sont G. Une part de ceux qui sont F, peut-être tous, sont aussi G, mais cette régularité ne correspond à aucune loi. Imaginons maintenant que ce législateur cosmique écrive la commande : « N(F,G) », qu'il exécute aussitôt. Que se passe-t-il dans le monde, au niveau des particuliers ?

L'universaliste, pour qui la loi de nature est une relation externe et contingente entre universaux, doit penser qu'une loi qui n'existait pas avant, a dorénavant cours. C'est maintenant une loi que tous ce qui est F est G. Les termes « avant », « dorénavant » et « maintenant » ne peuvent pas avoir de signification temporelle très consistante, mais nous les utilisons de façon métaphorique. En effet, comme nous le verrons dans la section 2., si la commande « N(F,G) » est exécutée, alors la loi s'applique à tous particuliers qui instancient les universaux F et G, peu importe leur localisation spatio-temporelle. Donc la loi aura toujours eu cours, à partir du « moment où » elle est mise en application. Ce cours s'impose à tous les particuliers du monde, dès lors qu'ils instancient les universaux concernés. Or, comme le

[88] Les médiévaux parlaient de « science moyenne » pour désigner la connaissance que Dieu a de la suite des événements dans l'univers seulement d'après les lois de la nature qu'il édicte. Ici, nous pourrions parler *d'action moyenne* puisque nous refusons à ce démiurge le pouvoir de modifier des états de fait particuliers dans l'espace et dans le temps. Notre démiurge ne fait pas de miracle, ni aucune intervention exceptionnelle dans le cours du monde.

démiurge n'a ni ajouté ni retiré d'universaux dans sa régie, mais simplement établi un nouveau lien entre eux, les particuliers de ce nouveau monde ne sont pas intrinsèquement modifiés, puisqu'ils possèdent les mêmes propriétés qu'avant. Simplement sont établies, comme conséquence de la loi, de nouvelles connexions locales entre états de fait particuliers. Auparavant, le particulier *a* était F et G, mais F(a) et G(a) étaient deux états de fait sans rapport. Dorénavant, suivant la nouvelle loi, F(a) *entraîne* G(a), en vertu de la loi. On voit donc en quel sens on peut penser que cette connexion au niveau du particulier est externe aux états de choses F(a) et G(a) : elle ajoute bel et bien quelque chose à des faits qui lui préexistaient, et rien dans ce que sont F(a) et G(a) ne rend nécessaire leur connexion.

Cet ajout, pour l'universaliste, est « automatique ». C'est le mot qu'employait Armstrong pour qualifier l'inférence de la régularité à partir de la loi valant au niveau des universaux. Mais la loi fonde-t-elle la régularité, maintenant que ces connexions particulières sont externes à chacune des paires d'états de choses ? Nous pouvons montrer que non, et que la relation de fondation (A) ne tient pas.

On se souvient que la loi N(F,G) est conçue par Armstrong comme un état de choses particulier de deuxième ordre, qui est aussi du même coup un universel du premier. Comme universel, N(F,G) est donc instancié par des particuliers de premier ordre, et c'est cette instanciation qui est l'application de la loi. Armstrong postule alors premièrement qu'en tant qu'universel, N(F,G) est relationnel et dyadique, et deuxièmement qu'il est instancié par *exactement* les paires de particuliers qui instancient les universaux F et G : F(a) et G(a), pour tout particulier a. On aurait donc cette relation de fondation :

(A') [N(F,G)](F(a),G(a)) est le cas en vertu du fait que N(F,G), F(a) et G(a) sont le cas.

Or, même en acceptant la première supposition, qui semble pourtant bien arbitraire (pourquoi donc N(F,G), qui est l'instanciation d'une relation par F et G, serait à son tour un universel relationnel ?), rien ne justifie la seconde, est c'est sur ce point que se concentre la critique. Nous montrons facilement qu'Armstrong ne peut pas faire cette supposition sans, comme le disait van Fraassen, prendre ses désirs pour la réalité ou bien entrer dans une régression ontologique. Or c'est précisément parce que la connexion nomique entre particuliers est maintenant supposée externe, que la critique de van Fraassen porte un coup à notre avis fatal.

En effet, comme la connexion nomique entre F(a) et G(a) est externe, rien ne justifie plus que l'extension de l'universel N(F,G) (de la loi) corresponde parfaitement aux extensions des universaux F et G. *On ne peut plus faire appel aux aspects intrinsèques des états de choses F(a) et G(a), à savoir qu'ils sont des instances de F et G*, pour dire que la loi N(F,G) s'y instancie « automatiquement ». Un universaliste comme Armstrong doit donc faire un postulat supplémentaire pour garantir la relation de fondation entre la loi et la régularité. Il doit postuler que les extensions de N(F,G) et de F et G coïncident adéquatement, ce qui revient à poser une nouvelle régularité :

(A'') pour tout x, F(x) ^ G(x) → [N(F,G)](F(x),G(x))

(A'') est une implication matérielle universelle. Elle dit simplement que pour tout particulier a qui est F et G, alors on a un état de choses relationnel qui est l'instanciation de N(F,G) par F(a) et G(a). Mais cette proposition n'énonce aucune relation de fondation, seulement une régularité. Face à cette situation, l'universaliste a exactement trois possibilités. Soit, en premier lieu, il ne fait qu'affirmer la régularité (A''), et il renonce alors à toute l'entreprise de fondation ontologique des régularités sur des lois. Soit, en deuxième lieu, il identifie cette régularité à une loi, ce qui reviendrait à se rendre entièrement à la théorie régulariste des lois. Soit, en dernier lieu, il maintient que les lois sont des relations entre universaux, et il pense que cette régularité (A'') est fondée sur une nouvelle loi. Il entre alors pleinement dans la régression du législateur, qui prend un tour complètement ontologique.

En effet, supposons maintenant que c'est une loi que pour tout particulier a qui est F et G, alors la paire d'états de choses particuliers F(a) et G(a) instancie N(F,G). C'est un nouvel énoncé nomologique, qu'on peut appeler le « décret d'application de la loi N(F,G) ». Mais si ce décret est vrai, son vérifacteur doit être conçu comme une nouvelle loi, analysée comme une relation entre universaux. Cette loi consisterait en l'instanciation d'une nouvelle relation D, qui est ternaire, par les universaux F, G et N(F,G), et qui pourrait s'écrire : D(F,G,N(F,G)). Une telle loi devrait fonder la régularité (A''), à savoir que tout ce qui instancie F et G instancie aussi N(F,G). Or cette loi doit à son tour s'appliquer ! En suivant Armstrong, elle est un état de choses de deuxième ordre, et donc un universel de premier ordre, instancié par des particuliers du premier ordre. Lesquels ? D(F,G,N(F,G)) devrait être instancié par les triplets F(a), G(a), et [N(F,G)](F(a),G(a)). Mais à nouveau, en vertu de quoi l'universel D(F,G,N(F,G)) aurait-il précisément cette extension ? Le dire simplement n'est qu'énoncer une nouvelle régularité, qu'il faudrait fonder sur l'existence d'une quatrième loi, etc. La régression est vicieuse, puisque si on analyse une loi comme une relation entre universaux, il faudra toujours supposer une nouvelle loi pour rendre compte de l'instanciation correcte de la première parmi les particuliers.

Ce résultat négatif nous semble dévastateur pour le cœur de la théorie DTA, c'est-à-dire la proposition d'identifier les lois de la nature à des relations entre universaux. En actant l'impossibilité de fonder les régularités empiriques sur des lois ainsi conçues, c'est tout l'intérêt de cette théorie qui s'effondre.

1.4.L'analyse des lois équationnelles.

À toutes ces questions concernant la nature des lois de la nature, nous en ajoutons une dernière : comment analyser ontologiquement les vérifacteurs des lois physiques formulées comme des équations mathématiques ? Après avoir établi le besoin d'analyser ontologiquement ces lois, nous passons en revue les différentes approches en présence, c'est-à-dire la position régulariste, l'analyse universaliste et

une nouvelle approche (par rapport aux deux précédentes) fondée sur la théorie de la mesure, et nous présentons les problèmes qu'elles posent.

1.4.1. Le besoin d'une analyse réaliste.

Les « lois équationnelles » sont les lois de la nature qui rendent vraies des énoncés physiques qui prennent la forme d'une équation mathématique. L'importance de les analyser vient du fait que ces équations sont certainement les énoncés nomologiques les plus importants des théories physiques, et *a fortiori* des théories actuelles. Comme l'écrit John Forge, « toute théorie qui prétend porter sur les lois qui font l'objet de l'investigation scientifique – admettons que nous ne sommes intéressés que par de telles théories – doit couvrir les lois fonctionnelles, et ne pas seulement convenir à des généralisations sur des corbeaux ou « vleu » » (Forge, 1986, p. 584). A notre avis, une théorie ontologique des lois doit même *avant tout* porter sur ces lois, quitte à ne pas convenir aux généralisations qualitatives portant sur la couleur des corbeaux ou des émeraudes. Mais quelle est la différence avec ces lois qualitatives, et pourquoi les appelons-nous « équationnelles » plutôt que « fonctionnelles » comme Forge ?

Une loi qualitative est une loi reliant deux propriétés qualitatives, et celle prise comme exemple paradigmatique jusqu'ici, NU : « c'est une loi que tous les *x* qui sont F sont G » est exactement de ce type-là. Or un énoncé nomologique qui prend la forme d'une équation comme L : F = αG ne relie pas des prédicats qualitatifs, mais des termes dénotant des concepts quantitatifs ou *grandeurs physiques*. Sans nous référer ici à l'ontologie des propriétés quantitatives développée au chapitre III, et sur laquelle nous nous appuierons dans la section 3, on note une différence cruciale entre les lois qualitatives et les lois quantitatives. Leurs instances ne *diffèrent* à première vue pas de la même façon. Selon l'analyse traditionnelle, une loi comme NU a pour instances des états de fait particuliers distinc*ts dans l'espace et le temps* : *a* qui est F et qui est G, *b* qui est F et qui est G, etc. Le périmètre de cette loi est un ensemble de faits spatio-temporellement distincts, mais ressemblants comme instances de F et de G.

Il en va tout autrement entre les cas particuliers contenus dans une équation comme F = αG. Ici, les termes « F » et « G » sont des variables qui ont pour arguments les valeurs de ces grandeurs. Si « F » est la grandeur Masse, alors elle peut prendre les valeurs « 1 kg », « 23 kg », etc. Si on note f_i et g_i respectivement les déterminations des *propriétés* F et G, alors les cas particuliers de la loi L : F = αG sont des relations entre ces déterminations : $f_i = \alpha g_i, f_j = \alpha g_j$, etc. Or ces cas particuliers de l'équation ne diffèrent pas comme diffèrent les instances d'une loi qualitative. Ici, ils diffèrent parce qu'ils sont composés des déterminations différentes des propriétés F et G reliées dans la loi L, et non spatio-temporellement. De plus ces différentes instances ne sont donc pas ressemblantes du point de vue des propriétés reliées dans la loi, mais diffèrent par elles. Cette analyse rapide n'est pas proposée comme une analyse ontologique, mais elle montre simplement les différences entre les deux types de lois, pour

mieux sonder et anticiper les difficultés que devront rencontrer les analyses qui, développées pour le premier type, sont plaquées sur le second.

Enfin, nous ne reprenons pas le terme « fonctionnel » pour deux raisons précises, et comme la littérature sur l'analyse ontologique de ces lois est assez peu développée, il ne s'impose pas non plus par l'usage. Premièrement, le terme « fonctionnel » (et même « loi fonctionnelle ») est plutôt préempté par la biologie et possède dans ce domaine un sens tout à fait déterminé. Cependant, on pourrait très bien faire valoir la légitimité mathématique du concept de fonction, et prétendre que c'est en son sens qu'il faut l'entendre ici le terme. C'est pourquoi, deuxième raison, parler de « loi fonctionnelle » pour analyser les équations nomologiques des théories physiques peut être dommageable parce que le concept mathématique de fonction n'est peut-être pas le bon moyen d'analyser le rapport entre les propriétés dénotées par les grandeurs « F » et « G ».

En mathématiques, une fonction est une relation non-symétrique entre deux ensembles, par laquelle l'un est image de l'autre, et qui est soumise à des contraintes précises (par exemple un élément de l'ensemble de départ – un antécédent – ne peut pas avoir plusieurs images, mais une image peut avoir plusieurs antécédents). A première vue, ce concept peut être utilisé pour parler de la relation de dépendance par laquelle, par exemple, un fait arrive si un autre est d'abord le cas. On voit l'affinité que cette idée de « dépendance fonctionnelle » peut avoir avec la catégorie de causalité, mais elle ne sera pas développée plus avant dans ce travail. En effet, la non-symétrie de la relation fonctionnelle ne nous semble pas adéquate pour analyser le rapport qu'installe une équation entre deux grandeurs, où il est très important, pour la pratique scientifique, que l'on puisse exprimer *toute* grandeur en fonction des autres, en manipulant algébriquement l'expression. Or, si on interprète le « = » de l'équation comme exprimant une dépendance fonctionnelle, et que l'on entend « fonctionnelle » en son sens mathématique, ce n'est par définition pas toujours possible, puisque toutes les fonctions ne sont pas inversibles. Si on dit que la loi consiste dans une dépendance fonctionnelle : $L : F = f(G)$, on ne peut donc pas en principe miser sur l'existence d'une fonction f^{-1} permettant d'exprimer G en fonction de F : $L' : G = f^{-1}(F)$.

Même si c'était le cas (dans un monde où toutes les lois seraient des dépendances fonctionnelles bijectives), la fonction f et son inverse f^{-1} ne sont pas la même fonction. Par conséquent, il faudrait tenir les lois L et L' pour deux lois distinctes (et en réalité autant de lois distinctes qu'il y a de grandeurs dans l'équation, à exprimer en fonction des autres), ce qui n'est ni économique ni satisfaisant, quand une équation comme $L : F = \alpha G$ passe en général pour dénoter une seule loi de la nature. Pour ces raisons, nous préférons dans la suite parler de « lois équationnelles » pour désigner ce qui rend vrais les énoncés nomologiques qui, dans nos théories physiques, prennent la forme d'équations mathématiques.

1.4.2. La voie universaliste : les lois et l'archi-loi.

Armstrong voit parfaitement la difficulté d'intégrer les lois équationnelles dans son approche, mais pense y parvenir en sophistiquant suffisamment la théorie DTA. La complexification que nous allons observer, et aussi l'inflation ontologique qu'elle occasionne, nous rappelleront celles déjà soulignées dans l'analyse des quantités par les tenants des universaux. Pour rendre compte des relations entre une propriété déterminable et ses déterminations, ils supposaient que chaque caractéristique déterminée était à son tour une propriété et devaient postuler des propriétés et relations de propriétés (*cf* chapitre IV). Nous verrons apparaître ici des gestes similaires.

Une loi équationnelle est généralement analysée par les universalistes comme *une classe* de lois qualitatives du type proposé par la théorie DTA. Ils identifient les déterminations f_i et g_i des grandeurs « F » et « G » à des *propriétés* déterminées, et postulent que pour tout *i*, il existe une loi reliant f_i et g_i avec $f_i = \alpha g_i$: « N(f_i,g_i) », si l'on suit le formalisme d'Armstrong. Il faut bien comprendre ici que la relation de nécessitation nomique « N » n'exprime pas du tout le rapport entre f_i et g_i posé par l'équation $f_i = \alpha g_i$. Elle vient garantir que non seulement tous les particuliers qui sont f_i sont aussi $g_i = \alpha^{-1} f_i$, mais surtout que c'est une loi que tous ces particuliers soient ainsi. Elle connecte nécessairement le fait que f_i soit instanciée avec le fait que la propriété déterminée g_i qui est $\alpha^{-1} f_i$ soit aussi instanciée.

Cela implique de penser qu'il existe (« peut-être » dit Armstrong p. 111) une infinité de lois de la nature correspondant à une seule loi équationnelle, en tout cas autant que de valeurs des grandeurs « F » et « G » qui sont effectivement le cas dans la réalité (c'est-à-dire pour eux, autant qu'on doit admettre de propriétés déterminées de F et de G). Armstrong expose en moins d'une page cette analyse des lois équationnelles (Armstrong, 1983, p. 111), et en serait pleinement satisfait s'il ne devait pas ensuite rendre compte d'un petit détail problématique, suscité par les cas possibles mais non-actuels qui sont contenus dans une loi équationnelle. Ce problème émerge à cause de son refus des universaux non-instanciés.

En effet, si l'équation L : F = αG est vraie, alors il faut qu'il existe un vérifacteur pour tous ses cas particuliers, et donc qu'il existe des lois N(f_i,g_i) pour toutes les propriétés déterminées f_i et g_i. Or certaines de ces propriétés (appelons-les f_0 et g_0) ne sont (peut-être) pas physiquement réalisées dans le monde, au sens où aucun particulier ne les instancie. Armstrong, qui n'admet pas d'universaux non-instancié (à la différence de Tooley et Swoyer), ne peut donc pas admettre non plus de loi N(f_0,g_0) pour rendre vrai le cas particulier $f_0 = \alpha g_0$ contenu dans l'équation L. Il est assez ironique que l'approche universaliste d'Armstrong ne soit pas mieux capable que le régularisme de rendre compte d'un cas de possibilité non-réalisée contenue dans la loi équationnelle, alors que ce type de cas était présenté (y compris par Armstrong, p. 37) comme un argument contre le régularisme. Néanmoins, Armstrong propose une élaboration de sa théorie pour y parvenir.

Comme le cas $f_0 = \alpha g_0$ ne peut pas être tenu pour actuel, Armstrong propose d'y voir l'objet d'un énoncé conditionnel : si f_0 était réalisé, alors ce serait le cas que $f_0 = \alpha g_0$. Comme le fait $f_0 = \alpha g_0$ est interprété comme une loi déterminée de la nature N(f_0,g_0), alors ce conditionnel devient dans le langage d'Armstrong un énoncé portant sur une loi possible : (LP) « S'il existe un particulier qui est instance de f_0, alors c'est le cas que c'est une loi que tous les particuliers qui sont f_0 sont g_0, c'est-à-dire que N(f_0,g_0) existe ». C'est l'existence et le cours de la loi N(f_0,g_0) qui sont conditionnés par l'existence d'au moins une instance de f_0 et g_0 :

> Les énoncés portant sur des lois non-instanciées ne sont vraiment que des énoncés sur ce que les lois imposeraient si, contrairement à ce qui est le cas, certains universaux étaient instanciés, c'est-à-dire existaient. Donc j'admets des lois non-instanciées, mais seulement comme un cas logiquement secondaire. (Armstrong, 1983, p. 112)

Tout le problème est maintenant pour Armstrong d'identifier le vérifacteur de ce conditionnel. Il remarque alors que la loi contrefactuelle N(f_0,g_0) prolonge en quelque sorte l'ensemble des lois N(f_k,g_k) actuellement réalisées, et que l'ensemble des lois possibles, qui seraient le cas si les propriétés déterminées qu'elles relient étaient instanciées, complètent les lois existantes. L'ensemble des lois N(f_k,g_k), réalisées ou seulement possibles, forme donc une *régularité,* composée d'états de choses de second ordre (c'est-à-dire d'états de choses impliquant des universaux). Armstrong imagine alors que cette régularité correspond à son tour à une loi. Ce serait une loi qui gouvernerait toutes les lois déterminées N(f_k,g_k), que nous appelons donc « archi-loi ». Son espoir est donc de fonder sur l'existence de cette archi-loi la vérité des énoncés comme (LP) portant sur les lois possibles. Enfin – et c'est la théorie définitive d'Armstrong, il propose d'identifier le vérifacteur de l'énoncé nomologique L : F = αG à cette archi-loi, quoi gouverne la classe des lois déterminées N(f_k,g_k).

A quoi ressemblerait cette archi-loi ? Les lois déterminées N(f_k,g_k) sont ses instances, et chacune associe une propriété déterminée de F à une certaine propriété déterminée de G, de telle sorte que $f_k = \alpha g_k$. L'archi-loi doit donc porter sur des *propriétés* instanciées par les propriétés déterminées f_k et g_k : « être une propriété déterminée de type F » (DF) et « être une propriété déterminée de type G » (DG). Armstrong propose alors d'identifier l'archi-loi à un état de fait N(DF,DG) reliant le fait d'être une propriété de type F et le fait d'être une propriété de type G.

Or comme telle, cette archi-loi est encore insuffisante pour gouverner la régularité des lois N(f_k,g_k) décrite par l'équation L : F = αG. En effet, N(DF,DG) implique seulement que une propriété de type F doit être reliée avec une propriété de type G, mais n'implique pas *cette* régularité L : F = αG. Dans un monde où c'est un autre énoncé nomologique L' : F = ßG, avec ß ≠ α, qui est vrai, alors les propriétés déterminées f_k et g_k seraient toutes associées différemment que dans un monde où L : F = αG est vrai. Pourtant, il demeurerait que toutes les propriétés qui sont des déterminations de F sont

associées avec une propriété qui est une détermination de G, donc N(DF,DG) serait identiquement le cas. Par conséquence cette archi-loi est encore trop indéterminée pour lui identifier le vérifacteur de l'équation L : F = αG. C'est pourquoi Armstrong finit par formuler ainsi l'archi-loi : N(DF,DG tel que F = αG), ou en français : « C'est une loi (de second ordre) concernant les propriétés de type F que, si un particulier (de premier ordre) a l'une de ces propriétés, alors c'est une loi (de première ordre) que ce particulier ait une propriété de type G, et de telle façon qu'une certaine relation (la fonction L : F = αG) tienne entre ces propriétés de types F et G »[89] (p. 113).

1.4.3. Les problèmes que pose la théorie de l'archi-loi.

1.4.3.1.Le problème de l'archi-loi.

Le problème principal, signalé par (Forge, 1986), est que l'ajout « de telle façon que F = αG » dans la formule ontologique de l'archi-loi reste totalement inanalysé d'un point de vue ontologique. Or cette contrainte de respecter l'équation L : F = αG fait finalement tout le travail, puisque c'est elle qui impose à toute propriété déterminée f_i d'être co-instanciée avec *cette* propriété déterminée g_i et avec aucune autre ; mais on ne sait absolument pas en quoi consisterait ontologiquement cette contrainte. Par exemple, à quoi renvoient les termes « F » et « G » dans l'équation, c'est-à-dire, que *sont* ontologiquement les grandeurs ? C'est finalement la question la plus importante dans l'analyse ontologique des lois équationnelles qui n'est pas traitée. « F » et « G » ne peuvent pas référer aux propriétés de second ordre DF et DG, parce que « être une propriété de type F » et « être une propriété de type G » sont des propriétés qualitatives, qu'il n'y a aucun sens à relier algébriquement.

L'équation L : F = αG ne peut donc signifier qu'un rapport régulier entre toutes les paires de propriétés déterminées f_k et g_k : que pour tout *i*, c'est avec une propriété déterminée g_i bien précise que f_i est reliée. Mais dans ce cas, l'ajout de l'équation L : F = αG dans la formule de l'archi-loi complète N(DF,DG) par une vaste disjonction : l'instanciation d'une propriété X qui est DF entraîne l'instanciation d'une propriété Y qui est DG, *et* la paire (X,Y) est (f_1, g_1) *ou* (f_2, g_2), ... *ou* (f_i, g_i), etc… pour tout *i*. Nous ne voyons pas comment la contrainte exprimée dans l'équation L : F = αG peut autrement s'imposer aux instances de DF et DG – c'est d'ailleurs la solution que nous choisirons au moment de rendre compte des lois équationnelles (voir section 3.1.). Mais si c'est ainsi qu'est analysée l'archi-loi, alors elle n'est pas vraiment une loi de deuxième ordre gouvernant les lois déterminées de premier ordre, mais une régularité. Armstrong échoue donc à rendre compte de la façon dont l'archi-loi fonde précisément la régularité des lois déterminées, sinon en l'identifiant à cette régularité.

---

[89] Nous modifions simplement les symboles des propriétés, mais la formulation entière est d'Armstrong.

1.4.3.2.Le problème de la sémantique des cas possibles.

À ce premier problème d'ordre ontologique, nous en ajoutons un sémantique. La théorie des lois déterminées, enveloppées par une archi-loi, nous semble poser un problème dans son traitement des possibilités non-réalisées. Une possibilité non-réalisée mais contenue dans une équation comme L : F = αG est en général dénotée par un couple de valeurs numériques des grandeurs « F » et « G ». Par exemple, si « F » est la Masse et « G » l'Énergie, la masse m_{2U} qui serait deux fois celle de l'univers n'est pas réalisée, mais il est vraisemblable que sa réalisation soit physiquement possible. S'il existait un objet qui eût cette masse m_{2U}, alors imaginons que d'après la loi L il devrait avoir une énergie E_{2U}. Cette possibilité physique signifie pour qui admet des universaux non-instanciés, qu'un universel correspondant à m_{2U} n'est pas instancié mais pourrait l'être. Mais elle signifie pour Armstrong, que m_{2U} est un universel possible. Dans les deux cas, cette possibilité serait réalisée si un particulier *de premier ordre* existait, qui instanciait cet universel (et par conséquent aussi l'universel E_{2U}). Et le fait contrefactuel ne concerne que ce (ou ces) particulier(s) possible(s) de premier ordre.

Or, si l'on suit la théorie d'Armstrong, la possibilité non réalisée doit aussi être analysée comme la possibilité *d'une loi* non-réalisée, c'est-à-dire d'une loi seulement possible (Armstrong). Par conséquent, le fait contrefactuel concerne non seulement un fait particulier (un objet physique possédant la masse m_{2U} et l'énergie E_{2U}) mais aussi la loi possible N(m_{2U},E_{2U}). Autrement dit, on devrait admettre que le contrefactuel concerne aussi un particulier de deuxième ordre, c'est-à-dire la loi. Or il y a quelque chose d'extrêmement étrange à dire qu'une possibilité physique, contenue et prévue dans un énoncé nomologique formulé comme une équation, est en réalité une loi possible. On est en droit d'attendre que le contrefactuel « Si un objet existait qui avait la masse m_{2U}, alors … » porte plutôt en un fait particulier ou une classe de faits particuliers réguliers, de premier ordre.

Toutefois, on pourrait penser que ces problèmes n'émergent chez lui que parce qu'il n'admet pas d'universaux non-instanciés, et que débarrassé de cette pudeur on s'éviterait ce problème. Le second problème dépend clairement de cette particularité doctrinale d'Armstrong, mais il se peut que le premier aussi. Un universaliste pourrait alors se contenter d'identifier une loi équationnelle à la classe *complète* de toutes les lois déterminées N(f_k,g_k), si comme le précise Armstrong, il est « disposée à admettre des universaux non-instanciés » (Armstrong, 1983, p. 112). S'il y est prêt, alors il n'a aucun problème à postuler des lois pour les cas non actuels, et à identifier la loi équationnelle avec la classe complète de toutes les lois déterminées. Il n'a plus à postuler une archi-loi, et le premier problème ne se pose plus.

1.4.3.3.Le problème de l'archi-loi ne dépend pas de l'ontologie d'Armstrong.

Cependant, Tooley montre très bien que l'identification d'une loi équationnelle à une classe de lois déterminées n'est pas satisfaisante. D'abord, cette option n'est pas très naturelle ou en tout cas

conforme à l'esprit des physiciens, qui parlent d'une seule loi pour une équation nomologique, et non d'une infinité (Tooley, 1987, p. 93). Mais si cet argument était valable, on pourrait le reconduire contre l'analyse *d'une* grandeur physique comme une classe comprenant une infinité de propriétés déterminées. Une ontologie n'est peut-être pas obligée de se conformer à l'esprit des physiciens ni à ce qui est apparemment naturel de penser. En revanche, postuler une infinité de lois déterminées pour analyser une seule loi équationnelle est extrêmement coûteux ontologiquement. Pour un universaliste, une loi n'est pas ontologiquement gratuite car elle ne survient pas sur les aspects intrinsèques des propriétés qu'elle relie. Elle est un universel qui s'ajoute aux deux (ou plus) propriétés reliées. Donc postuler autant de lois que de déterminations des grandeurs liées (après avoir déjà identifié ces déterminations à des propriétés – *cf* chapitre IV), est extrêmement peu économique ! Au nombre abyssal d'universaux postulés pour analyser *une* grandeur, on en ajoute maintenant au moins le même nombre pour analyser une seule loi dans laquelle entre cette grandeur.

Ensuite – et c'est l'argument de Tooley le plus intéressant – même en admettant des universaux non-instanciés, il semble difficile d'identifier le vérifacteur de l'équation L : F = αG à la classe de toutes les lois déterminées N(f_k,g_k). Car, explique Tooley (p. 94), pour que l'équation soit vraie, il ne suffit pas que toutes ces lois déterminées soient le cas mais il faut aussi que toutes soient en « parfait accord » (« *perfect agreement* »). Tooley ne précise pas ce qu'un désaccord pourrait être, mais on peut s'en faire une idée au vu de la discussion qui suit dans son livre. Les différentes déterminations d'une même grandeur « F » ont des relations d'ordre et de congruence bien précises, qui les rendent représentables par une structure numérique, par exemple une structure de nombres réels (admettons le également pour les déterminations de « G »). Il faut alors que l'ensemble des lois N(f_k,g_k) qui associent les déterminations de F à celles de G n'engendrent pas d'incohérence dans les structures des f_k et des g_k. Par conséquent, toutes les associations entre les ensembles des f_k et des g_k ne sont pas admissibles, et on ne sait pas d'où vient cette contrainte si on analyse la loi équationnelle seulement comme une classe de lois déterminées. L'accord parfait entre toutes les lois déterminées serait un pur accident. Pour Tooley – et nous le suivons entièrement, cet argument est suffisant pour admettre le besoin d'une archi-loi (« *overarching law* », dit Tooley) même si l'on accepte des universaux non-instanciés.

Par conséquent, la critique que nous formulions de la théorie de l'archi-loi d'Armstrong a beaucoup plus de généralité qu'aperçu au départ, dans la mesure où elle ne dépend pas du refus armstrongien des universaux non-instanciés. A ces deux premières critiques (le problème de l'archi-loi, et le caractère très coûteux d'une telle théorie), on peut en ajouter plusieurs autres qui n'ont pas tant pour effet d'attaquer frontalement cette conception, que d'en affaiblir les motivations initiales.

1.4.3.4.Problèmes épistémologiques.

En effet, il nous semble qu'en plus de ces problèmes internes, les arguments épistémologiques initialement développés par les universalistes contre la position régulariste dans l'examen des lois qualitatives simples comme NU « C'est une loi que tous les F sont G », sont beaucoup moins puissants contre une analyse *régulariste* des lois équationnelles. Dretske et Armstrong reprochaient aux lois, identifiées à des régularités comme le fait que tous les particuliers qui sont F soient aussi G, de ne pouvoir ni *expliquer* les particuliers qui sont leurs instances (par exemple le fait que a soit F et G) ni *être confirmées* par leurs observations. Armstrong réclamait « quelque chose en plus » de la classe des instances de la loi, qui les explique et dont l'existence soit inférée par confirmation inductive.

Or cette critique ne semble plus porter contre une analyse régulariste des équations nomologiques, parce que la régularité en question est celle d'un rapport mathématique, constamment vérifié par les instances de la loi, et que ce rapport mathématique est bien quelque chose de plus que ces instances particulières. Signalons tout de suite que cet argument épistémologique nous engage à bien plus que ce que nous dirons ici. Il faudrait, pour lui donner toute sa force, expliquer en détail comment nous concevons qu'un énoncé nomologique, affirmant la constance d'un rapport mathématique, permet *d'expliquer* ses instances particulières (et cela engagerait une discussion de la notion d'explication mathématique), et tout aussi bien *d'être confirmé* par ses instances. Nous reviendrons à cette deuxième question seulement, dans le chapitre IX. Mais détaillons seulement ici en quelle régularité une loi équationnelle pourrait consister.

En s'inspirant des analyses de (Forge, 1986, p. 585), disons qu'une loi reliant les grandeurs « F » et « G » se manifeste par la régularité suivante : $\forall x, f(x) = \alpha g(x)$, où la variable x couvre des particuliers de premier ordre, $f(x)$ (ou $g(x)$) est la valeur réelle associée au particulier x par une mesure de la propriété F (ou G). Cette régularité consiste donc dans la constance d'un rapport mathématique (ici, la proportionnalité, mais on peut généraliser à des rapports plus complexes – y compris un rapport fonctionnel, comme c'est le cas dans le texte de Forge) entre tous les particuliers qui sont F et qui sont G. Si c'est une loi que $\forall x, f(x) = \alpha g(x)$, l'analyse régulariste de cette loi n'est pas victime des difficultés rencontrées par les régularités qualitatives comme « tous les x qui sont F sont G », parce qu'elle contient précisément quelque chose en plus de la conjonction de ses instances séparées, le rapport mathématique, dont on ne peut pas exclure qu'il participe à l'explication de ses instances, ni qu'il soit confirmé par elles.

1.4.4. L'approche de Tooley fondée sur la théorie de la mesure.

Creuser l'approche régulariste rapidement esquissée au-dessus nous demanderait de revenir à la définition empiriste d'une grandeur physique, qu'on trouve en théorie de la mesure. Bas van Fraassen

en donne un petit résumé au début du chapitre V de *Lois et symétrie* : en définissant une grandeur comme une fonction (au sens mathématique d'application d'un ensemble dans un autre) reliant un ensemble de particuliers concrets et manipulables à un ensemble de nombres, alors la fonction $f(x)$ peut désigner l'ensemble des mesures de la grandeur F, et $g(x)$ celles de G. L'équation nomologique L : F = αG peut alors être interprétée comme énonçant un rapport algébrique entre les fonctions f et g. Comme telle, cette analyse de l'équation L tend plus naturellement vers une approche instrumentaliste de la loi, qui ne désignerait rien dans la réalité mais serait surtout un outil mathématique de calcul et donc de déduction et de prévision. Mais elle peut aussi jeter les bases d'une analyse ontologique des lois équationnelles, soit régulariste, soit universaliste. Si les grandeurs F et G sont identifiées à des fonctions associant des ensembles de *particuliers* étant F et étant G à des nombres, alors la loi ne porte pas sur la propriété « être F » mais sur ses instances, et l'approche fondée sur la théorie de la mesure semble tendre naturellement vers une ontologie régulariste des lois.

1.4.4.1.La théorie des lois équationnelles de Tooley.

Néanmoins, comme le suggère déjà (Forge, 1986, p. 587), un universaliste peut s'inspirer de cette approche et proposer une interprétation des fonctions comme universaux. C'est ce que fait Tooley, qui introduit sa théorie à partir d'une discussion de la position de Field sur les grandeurs physiques. Field défend et mène partiellement à bien un programme de reformulation nominaliste des théories physiques (de leurs énoncés géométriques et nomologiques portant sur des grandeurs physiques), dont l'objectif principal est de se passer de la référence aux nombres (Field, 1980). Il propose en particulier de reconstruire toute grandeur physique q à partir de deux prédicats, une relation dyadique « plus petit-en-q-que » ($<_q$), par laquelle on peut classer et ordonner les objets x et y[90], et une relation tétradique de « congruence-en-q » ($\circ_q$), par laquelle la différence entre x et y est identique à la différence entre z et u. Pour Field, les variables x, y, z et u couvrent un domaine d'individus qu'il identifie aux points d'espace-temps. Field est alors en mesure de montrer, en s'appuyant sur la théorie mathématique de la mesure, que l'attribution d'une mesure de la propriété q à un particulier peut être reconstruite comme l'attribution à ce particulier d'une place dans la structure de tous les particuliers, déterminée par les prédicats $<_q$ et $\circ_q$. On peut donc dire que la fonction $f(x)$ qui désigne les mesures de la grandeur F est donc efficacement analysée par les prédicats $<_F$ et $\circ_F$. La grandeur F est alors identifiée, à partir du domaine D à la structure $<D, <_F$ et $\circ_F>$.

Tooley salue et accepte cette reconstruction des grandeurs, au prix de deux modifications qui lui retire tout son esprit nominaliste. Premièrement, Tooley identifie explicitement ces relations à des

[90] Pour une grandeur physique qui n'a pas la topologie d'un ordre linéaire – ce qui peut arriver en géométrie notamment, la relation « plus petit-en-q que » est remplacée par la relation triadique « entre-en-q », par laquelle on dit d'un objet x qu'il est entre y et z.

universaux, ce que ne fait évidemment pas Field. Ce qui l'intéresse à l'horizon reste, en bon universaliste, d'analyser les lois de la nature comme des relations entre universaux, et il lui faut pour cela identifier une grandeur F à une paire d'universaux comme $<_F$ et $°_F$. Une loi impliquant F sera alors analysée comme une relation impliquant ces deux universaux. Tooley se fonde ensuite sur Armstrong[91] pour dire que pour des grandeurs autres que spatiales (masse, charge, etc.) les relations $<_F$ et $°_F$ sont plus plausiblement conçues comme internes, et survenantes sur les caractéristiques internes des objets reliés :

> …car tandis que le fait qu'un objet est situé entre deux autres ne dépend pas des propriétés intrinsèques de ces trois objets, le fait qu'un objet est plus lourd qu'un autre dépend certainement des propriétés intrinsèques des deux objets. (Tooley, 1987, p. 100)

Cet argument motive la seconde modification qu'il fait subir à la théorie de Field. Si ces relations sont internes, alors elles ne sont pas d'authentiques universaux mais sont totalement réductibles à des faits caractéristiques des particuliers reliés (pour Field, les points de l'espace-temps). Par conséquent, on se détournerait définitivement de l'objectif universaliste d'identifier les lois à des relations entre d'authentiques universaux, et une loi impliquant par exemple la grandeur F aurait pour vérifacteurs des faits concernant les particuliers reliés-en-*F* (p. 101). C'est pourquoi Tooley propose finalement de remplacer le domaine de points d'espace-temps par un « spectre continu » de propriétés déterminées de F. Il admet pour une grandeur comme la température un continuum de propriétés, chacune étant la propriété d'avoir telle température déterminée. Il ajoute que de cette façon, on peut concevoir que les relations $<_F$ et $°_F$ soient externes à leurs *relata*, car elles ne surviennent pas sur les propriétés intrinsèques de particuliers mais ordonnent et structurent des objets de deuxième ordre, les propriétés.

On pourrait croire, en ce point, qu'on en revient finalement à une théorie universaliste classique des grandeurs physiques, conçues comme des classes structurées d'universaux (les propriétés déterminées), assez proche de celle de Swoyer vues dans les deux chapitres précédents. La théorie de Tooley s'en démarque pourtant d'une façon radicale, par le rôle qu'il accorde aux lois de la nature dans la détermination de ce que sont les propriétés déterminées de F. Pour Tooley, les lois de la nature ont pour rôle (1) de regrouper des propriétés déterminées comme déterminations d'une même grandeur, et surtout (2) d'ordonner et structurer ces propriétés, de telle sorte que la difficulté qu'il soulevait contre Armstrong reçoit ici une solution élégante.

---

[91] Il fait référence (Armstrong, 1978b, p. 86); on retrouvera ensuite cet argument dans (Armstrong, 1988). Le livre de Tooley est de février 1988, nous ne savons pas s'il a pu s'inspirer directement de l'article d'Armstrong.

1.4.4.2.Les avantages de la théorie de Tooley.

Armstrong admettait des propriétés de deuxième ordre comme « être une propriété déterminée de F », que devraient instancier toutes les propriétés déterminées de F. Il y était contraint pour expliquer la nature de son archi-loi, mais cela contrevenait à l'un des points les plus importants de sa théorie des universaux, qu'il n'existe pas d'universel déterminable, mais que des déterminés (Armstrong, 1978b, p. 111). Pour y remédier, sans ajouter des universaux aux universaux, Tooley propose une solution originale :

> Qu'est-ce, pour une propriété de premier ordre, P, que d'être une propriété de masse ? Je voudrais suggérer que cela tient au fait qu'elle entre dans certaines lois. […] Les propriétés en question ne sont pas des propriétés de masse en vertu simplement de leur nature intrinsèque, mais ce qui est crucial, ce sont les lois dans lesquelles elles entrent. (Tooley, 1987, pp. 102-105)

Tooley suggère donc que les conditions d'identité (ou de distinction) des propriétés déterminées, et donc du fait d'être une détermination de telle grandeur F plutôt que de telle autre, sont la place qu'ont ces propriétés dans les lois de la nature. La place des propriétés de masse n'est pas la même que celle des propriétés de charge. Il n'y a donc rien pour lui d'intrinsèquement « massif » à une propriété qui, possédée par un objet, lui confère une masse. La massivité de sa masse est entièrement fondée sur la place détenue par cette propriété dans les lois de la nature.

Or comme telle, la théorie des lois de Tooley n'est pas explicitement complète. En effet, on peut se demander à quoi finalement il identifie la loi – ce qu'il ne dit pas clairement ! On peut penser qu'il s'agit d'une relation nomologique N instanciée entre des universaux, car Tooley est un universaliste. Mais N ne tient pas entre des universaux déterminables DF et DG comme l'archi-loi d'Armstrong, pas plus qu'entre les propriétés déterminées – il a repoussé l'approche armstrongienne qui multiplie les lois déterminées. Pour Tooley, ce sont les universaux relationnels $<_F$ et $°_F$ qui entrent dans une loi (à la place d'un seul terme « F »). Comment une propriété déterminée de F peut-elle être une détermination de F par sa place dans des lois, si ce ne sont pas les propriétés déterminées qui entrent dans ces lois ?

Pour le comprendre, il faut ajouter que les lois de la nature non seulement regroupent des propriétés comme déterminations de la même grandeur, mais aussi les classent et les structurent. Les relations $<_F$ et $°_F$ regroupent, ordonnent et structurent des propriétés déterminées. En s'inspirant de Field, on imagine que Tooley pense remplacer les termes de grandeurs (qui sont des fonctions à valeurs numériques) dans les équations par des prédicats dénotant ces relations $<_F$ et $°_F$. Par conséquent, une loi de la nature peut être conçue comme une relation (N) entre des faits de second ordre impliquant $<_F$ et $°_F$ et des propriétés déterminées de F d'un côté, et des faits de second ordre impliquant $<_G$ et $°_G$ et des propriétés déterminées de G de l'autre. Une loi, ainsi conçue, relie de façon globale et unique la structure

des propriétés de F et la structure des propriétés de G. Le plus important dans cette théorie est que la loi est le fait ontologique premier : c'est en vertu de son existence que les propriétés déterminées de F et de G sont structurées comme elles le sont. La loi co-structure plusieurs classes de propriétés déterminées.

1.4.4.3.Le problème de le théorie de Tooley.

Le problème majeur de cette théorie, si nous l'avons bien comprise, vient de ce qu'il n'est pas certain du tout que les relations d'ordre et de congruence entre propriétés qui sont des déterminations d'une même grandeur soient externes. Nous avons déjà discuté cette question à propos du même point dans la théorie de Swoyer (chapitre VI, section 4.1.) où, si l'on s'en souvient, la théorie de la quantité F était prise pour une théorie physique rudimentaire, dont les théorèmes ne sont pas des vérités nécessaires mais contingentes. Ici, les théorèmes qui portent sur les quantités comme F et G sont des vérités d'autant plus contingentes que ce ne sont pas des énoncés propres à des théories séparées des quantités, mais des énoncés de lois de la nature impliquant ces grandeurs. En somme, il n'y a pas chez Tooley une théorie de la Masse, une théorie de la Force, et une théorie du mouvement qui concerne la loi qui les relie, mais c'est cette seule théorie du mouvement qui gouverne non seulement le comportement des corps massifs mais aussi les structures des déterminations de la Masse et de la Force. Or cela nous permet de formuler un nouvel argument contre le caractère externe de ces relations.

En effet, si les relations structurant les déterminations de ces grandeurs sont externes, alors comment peut-on encore distinguer deux lois différentes de la nature impliquant les mêmes grandeurs ? Si la loi reliant les grandeurs F et G est contingente, comme tous les universalistes l'admettent, alors il y a un monde possible où c'est une autre loi L' qui relie F et G. Par exemple, la loi de la gravitation de Newton y est une loi en cube inverse et non en carré inverse. Or si la loi L' relie différemment F et G, cela signifie que pour toute détermination f_i de F, c'est une loi qu'elle est associée avec une détermination g_j *autre* que dans la loi L, où f_i était associée avec g_i. Et inversement g_i est associée dans L' avec une f_j différente de f_i avec laquelle il était associée dans L. Pour qu'on puisse concevoir des lois équationnelles différentes pour les mêmes grandeurs, il faut donc que les déterminations f_i et f_j, g_i et g_j, soient distinguées *indépendamment* de leur place dans les lois. Pour que des lois distinctes coordonnent *différemment* les *mêmes* classes structurées, il faut que ces classes soient *au préalable* structurées, et le soient donc de façon interne.

Si ces classes sont au contraire structurées par leur coordination dans une loi, cela rend possibles des situations très indésirables comme : dans deux mondes possibles distincts, ce sont deux lois différentes qui gouvernent le mouvement des corps massifs (reliant la Masse et la Force), mais ces deux lois se manifestent par exactement les mêmes ordres et relations entre les corps massifs. Il suffit pour cela qu'une loi, reliant différemment F et G, change aussi de façon adéquate la structuration des

déterminations de F et G. L'inverse serait également possible, où deux mondes sont exactement ressemblants au plan des comportements particuliers, mais où ce sont deux lois possibles qui valent. En un mot, la théorie de Tooley – si nous l'avons bien comprise – semble entraîner non pas une sous-détermination, mais une indétermination empirique totale des lois de la nature.

L'approche de Tooley ne semble donc pas convenir, mais pour une raison somme toute extérieure à ce qui fait l'essentiel de sa théorie des lois équationnelles, à savoir sa conception des grandeurs physiques, dont il ne nous semble pas adéquat de concevoir l'ordre et la structure comme formés de relations externes entre déterminations. Néanmoins, sa théorie a beaucoup d'avantages par rapport à celle d'Armstrong. Elle est d'abord beaucoup plus économique, dans la mesure où une loi équationnelle est identifiée à une seule entité (une relation entre grandeurs) et non à une classe infinie de lois simples. Ensuite, elle résout le problème que Tooley détectait chez Armstrong, en empêchant efficacement toute inconsistance entre l'ordre des déterminations d'une même grandeur et le rapport posé par la loi entre les grandeurs. Mais la solution de Tooley, qui consiste finalement à inclure le premier dans le second, nous semble trop radicale. On doit pouvoir penser que les diverses déterminations d'une même grandeur sont structurées indépendamment du fait que cette grandeur entre dans une loi de la nature.

Lorsque nous exposerons notre propre conception des lois équationnelles, à la section 3.1., nous reprendrons des aspects importants de sa théorie, comme la thèse selon laquelle différentes déterminations sont des déterminations de la propriété F plutôt que de H en raison de leur place dans les lois de la nature, et l'idée qu'une loi de la nature consiste dans un rapport entre deux structures de déterminations. Seulement, d'une part nous ne ferons pas le présupposé universaliste que les déterminations d'une même grandeur correspondent à des *propriétés* (déterminées), mais bâtirons la théorie des lois sur la théorie des grandeurs développée au chapitre IV, où les déterminations d'une même propriété sont les instances particulières de cette propriété. Néanmoins, dans les deux cas on rend bien compte de ce qui nous semblait à la section 1.4.1. être la spécificité des lois équationnelles par rapport aux lois qualitatives, à savoir que leurs instances ne sont pas distinctes comme des particuliers concrets séparés dans l'espace-temps, mais comme des déterminations différentes des grandeurs reliées.

Ensuite et d'autre part, nous ne voyons plus quel bénéfice peut encore être associé à l'approche universaliste dans la théorie de Tooley lui-même. En reprenant l'idée d'identifier une loi à un rapport mathématique entre deux structures de déterminations, nous ne voyons plus l'intérêt de concevoir ce rapport comme une relation nomologique « N ». Non seulement les arguments épistémologiques des universalistes ne nous semblent plus valoir contre une approche régulariste des lois équationnelles, mais nous ne savons plus à quoi pourrait servir un universel « N » pour analyser le rapport mathématique entre deux structures. Nous verrons bientôt comment on peut l'analyser comme une régularité.

1.5.Conclusion : les réquisits que doit satisfaire l'ontologie des lois de la nature.

Tirons des critiques adressées aux positions régulariste et universaliste, une liste des exigences que doit satisfaire une ontologie acceptable des lois de la nature. Commençons par les réquisits sémantiques. Premièrement, l'analyse ontologique des lois de la nature doit rendre compte de l'opacité intensionnelle des énoncés nomologiques, et du fait qu'une loi ne réfère pas aux particuliers empiriques auxquels elle s'applique, mais à leurs « propriétés » (tout le problème étant de savoir quelle réalité ontologique on met derrière ce terme). Deuxièmement, la théorie des lois de la nature doit nous fournir un critère ontologique pour distinguer clairement les généralisations empiriques qui sont accidentelles et ne correspondent à aucune loi, des généralisations qui correspondent à des lois. Par ce même critère, on devra naturellement fournir un moyen de rendre compte des possibilités physiques non-instanciées, et surtout de fonder la vérité des énoncés contrefactuels supportés par des lois. Normalement, la satisfaction de ces réquisits sémantiques devra nous conduire à identifier les lois de la nature à autre chose qu'à de simples régularités humiennes. Le problème de l'identification devra donc être résolu.

Mais du même coup, il faudra aussi répondre au problème de l'inférence. C'est ici que nous nous démarquerons le plus fortement de l'analyse universaliste, dans la mesure où nous ne demandons pas d'analyse de la « nécessitation nomique ». Le problème de l'inférence nous paraitra divisible en deux réquisits tout à fait distincts. Le premier est entièrement ontologique, c'est l'exigence de fondation : que la vérité des énoncés particuliers qui appliquent la loi de la nature à des phénomènes particuliers soit fondée sur ce qui rend vrai l'énoncé nomologique lui-même, à savoir l'existence d'une loi de la nature. Il faut donc concevoir la nature de la loi de la nature de telle sorte que :

> *(F) pour tout a, n(F(a),G(a)) est le cas en vertu seulement de l'existence d'une loi de la nature concernant les propriétés F et G.*

Mais à côté de ce réquisit purement ontologique, le « problème de l'inférence » renferme une exigence simplement épistémologique. Il faut que l'on puisse inférer, de l'énoncé nomologique et de certaines conditions initiales, un énoncé d'application de la loi à ces cas particuliers. Il faut que l'on puisse faire le raisonnement suivant : comme d'après L, c'est une loi que tous les F sont G (énoncé nomologique), et que F(a) et G(a), alors on en déduit que L(F(a),G(a)) : d'après la loi, a est F et G. La nécessité ici n'est pas nomologique mais logique. C'est la validité d'une inférence. On se rappelle que le régulariste humien répondait sans problème à cette exigence inférentielle. Comme, pour lui, la loi s'identifie à au fait universel que tout ce qui est F est G, son énoncé implique nécessairement tous les énoncés particuliers qu'il enveloppe, comme « a est F et G », « b est F et G », etc. Dressons donc la liste des réquisits que devra satisfaire précisément notre analyse de la nature des lois de la nature :

(R1) Rendre compte de l'opacité sémantique des énoncés nomologiques.

(R2) Fournir un critère ontologique pour distinguer entre les généralisations empiriques accidentelles des généralisations qui correspondent à des lois.

(R2') Rendre compte des possibilités physiques non-instanciées.

(R2'') Fonder la vérité des énoncés contrefactuels supportés par des lois.

(R3) Justifier l'énoncé de fondation (F).

(R4) Résoudre le problème de la nécessité inférentielle de la loi à ses cas particuliers.

(R5) Proposer une analyse ontologique satisfaisante des lois équationnelles.

Enfin, nous ne reprenons pas encore les exigences épistémologiques discutées dans la section 1.1.1., concernant la confirmation et l'explication. En particulier, concernant l'induction, nous ne trancherons pas ici la question de savoir si elle est une démarche de généralisation des phénomènes observés vers tous les phénomènes (comme on le pense généralement, et le soutiennent en particulier les régularistes), ou bien d'inférence à la meilleure explication (comme le pense Armstrong). Nous mettons donc en suspens question de la nature *épistémologique* de l'induction, qui dépend de la conception que l'on se fait de la confirmation des énoncés nomologiques et de l'explication par ces énoncés. Nous reviendrons pleinement à ces questions dans les chapitres VIII et IX. Néanmoins, nous devons maintenant étudier le problème classique de l'induction, pour comprendre comment précisément l'existence des lois de la nature permettrait de le résoudre, en offrant un fondement métaphysique à la *possibilité* d'induire des observations scientifiques la vérité des énoncés nomologiques.

2. L'ancien problème de l'induction ou « problème de Hume ».

C'est en effet ainsi que se connectent la question, étudiée jusqu'ici, de la nature des lois de la nature, et le problème classique de l'induction, que nous allons poser maintenant. Plus précisément, nous allons poser le problème *ontologique* de l'induction, qu'il faut distinguer de la question épistémologique de la légitimité du raisonnement inductif (dont il sera question au chapitre IX). Admettons que certaines de nos inductions scientifiques sont acceptables, sans savoir encore ce qui les distinguerait des inférences inductives inacceptables. Avec ces inductions, nous inférons la vérité des énoncés nomologiques par la vérification expérimentale de leurs conséquences observationnelles. Que devons-nous présupposer, en termes ontologiques, pour que ces inductions soient *possibles* ? La réponse communément reçue à cette question consiste à dire qu'il faut, pour que l'induction soit possible, qu'il existe des lois de la nature et que ces lois soient stables. Elle implique donc un principe existentiel (« il existe des lois de la nature ») et surtout une certaine conception de leur nature ontologique, qu'on peut appeler le « postulat de stabilité » (« les lois sont stables »). Le problème ontologique de l'induction

consisterait à montrer qu'il existe une structure nomique stable de la nature. Nous allons ici discuter et critiquer la pertinence de ce postulat de stabilité pour poser adéquatement le problème de l'induction.

On formule en effet ordinairement le problème métaphysique de l'induction ou « problème de Hume » de cette façon : comment démontrer le « Principe de l'induction », c'est-à-dire, que « les mêmes causes entraînent toujours les mêmes effets, dans les mêmes circonstances » ? Ce que nous allons contester précisément, c'est l'usage de la catégorie de causalité dans la formulation du Principe de l'induction. Nous défendrons donc la thèse suivante : pour résoudre le problème (ontologique) de l'induction, il n'est ni nécessaire, ni suffisant, de démontrer que les mêmes causes engendrent les mêmes effets. Nous avancerons pour y arriver deux arguments.

Premièrement, la catégorie de causalité est *inutile* à la formulation du problème de l'induction. Pour le montrer, il faudra remonter à l'origine historique, dans la critique humienne de la relation de causalité ; puis tracer rapidement le chemin historique par lequel le problème de la causalité a attrapé au passage le concept de « loi de la nature » pour devenir avec Mill le problème canonique de l'induction. Or le concept de « loi de la nature » est nécessaire et surtout suffisant pour poser le problème de l'induction. Par conséquent l'usage du concept de causalité est dispensable.

Deuxièmement, la catégorie de la causalité est non seulement inutile, mais aussi *néfaste* à sa formulation. En effet, son usage nous conduit directement à penser que la possibilité que les lois changent au cours du temps qui pose problème. Or, selon nous, cette idée d'un « changement possible des lois de la nature » n'a rigoureusement aucun sens, et une analyse du concept de loi de la nature nous montrera qu'une loi existe mais ne change pas, ou bien n'existe pas. Par conséquent, non seulement nous pouvons, mais nous devons surtout nous passer de la catégorie de causalité.

Enfin, nous finirons par proposer ce qui est, selon nous, la formulation la plus adéquate du problème de l'induction. Il est de démontrer le seul principe existentiel : « Il existe des lois de la nature », et non pas un principe modal « les lois de la nature sont nécessaires ou ne peuvent pas être autres ». Nous allons donc proposer une critique de la formulation traditionnelle du problème de l'induction, puis une rectification de son énoncé. Nous avons bon espoir qu'ainsi remodelé, le problème de l'induction non seulement sera plus simple, et qu'une solution possible se laissera mieux envisager.

2.1.Le principe de l'induction, de la causalité à l'uniformité des lois.

Traçons, à grands traits, le chemin historique qui part de la critique humienne de la causalité pour aboutir à la formulation canonique du problème de l'induction, qu'on trouve chez Mill, puis enfin chez Russell. Nous verrons que la catégorie de causalité, d'abord seule au centre du problème, s'attache au concept de loi de la nature sous la figure de la « loi universelle de Causalité », avant d'apparemment s'effacer dans la formulation du « principe d'Uniformité » dans le temps des lois de la nature.

2.1.1. Hume et la critique de la causalité.

Le terme « induction » n'apparaît pas chez Hume. Mais c'est à lui que l'on fait remonter traditionnellement le problème, parce qu'il interroge la légitimité de ce qu'on peut appeler les *inférences factuelles ampliatives* (Hume, 2008). Pour les définir, il faut partir de la distinction entre les vérités de raison, établies par voie démonstrative et donc logiquement nécessaires, et les vérités de fait, qu'on ne peut établir que par l'expérience et l'observation. Les vérités de fait sont donc des vérités contingentes, qui n'ont aucune nécessité logique. Or la prédiction d'un effet inconnu en fonction d'une cause est un énoncé tout à fait étrange, impur, qui s'intercale entre les vérités de raison et les vérités de fait. Il est le résultat d'une inférence à la fois *factuelle* et *ampliative*, c'est-à-dire d'un raisonnement par lequel, à partir de prémisses fondées sur des observations effectives (« factuelle »), on dépasse l'expérience finie pour atteindre une conclusion nouvelle (« ampliative »), sur ce qui n'a pas (encore) été observé. Cette prédiction causale concerne donc un fait contingent et non-observé, mais elle jouit néanmoins d'une forme de nécessité comme conclusion d'une inférence. Hume a le premier pointé cette bizarrerie du raisonnement inductif : il aboutit à une vérité de fait, qui n'est pourtant pas frappée par la contingence des faits.

Ensuite, Hume a le premier conçu une configuration de problèmes qui est encore largement la nôtre aujourd'hui. Nous voulons parler ici de la distinction entre deux niveaux problématiques, et leur articulation. Il y a d'une part le problème qui se pose à l'égard des inductions particulières : par exemple le raisonnement par lequel, à partir de l'observation régulière du lever du soleil le matin, on aboutit à la conclusion qu'il se lèvera demain. Ces inductions particulières posent un problème d'ordre logique et épistémologique, qui est l'incertitude radicale de leurs conclusions. Ces raisonnements ne sont pas logiquement valides, donc on ne peut pas être certain de ce qu'on prédit. D'autre part, il y a le problème proprement métaphysique du Principe de l'induction, que Hume a formulé ainsi : peut-on démontrer que « le futur ressemblera au passé, et [que] les mêmes causes produiront les mêmes effets » ? Ce problème n'est plus d'ordre épistémologique, mais métaphysique : pour le résoudre, il faut atteindre une vérité non-empirique sur la nature en tant que telle.

Hume a clairement établi l'articulation entre ces deux niveaux de problème. Premièrement, pour être logiquement valide, et donner lieu à une certitude, toute induction particulière présuppose la vérité du Principe de l'induction (qu'elle intègre en prémisse). Donc pour résoudre le premier problème, il faut avoir résolu le second. Mais, deuxièmement, comment résoudre le second ? Un principe d'induction comme « le futur ressemblera au passé » est un énoncé qui porte sur la nature, sur le comportement général des objets dans l'expérience, ou si l'on préfère, sur les rapports de ressemblance entre les faits dans le temps. Il n'est donc pas une vérité de raison, démontrable *a priori*. Mais s'il est une vérité de fait dont la portée dépasse les limites de l'expérience effective, alors il ne peut être que la conclusion d'une induction *particulière*. Donc pour le démontrer et résoudre le second problème, il faut avoir résolu

le premier. Le cercle est parfait, et le problème de l'induction, pris globalement comme l'articulation de ces deux problèmes, est insoluble.

Tel que le formule Hume, le principe de l'induction implique des concepts causaux (cause, effet), mais pas les « lois de la nature ». Selon lui, l'inférence causale est la seule façon dont on dispose pour dépasser ce qu'on observe vers ce qu'on n'observe pas, parce que la causalité lui semble la seule relation sur laquelle s'appuyer pour augmenter notre connaissance des faits naturels (Hume, 2008, p. 97). Historiquement, c'est ce facteur tout à fait local, la théorie humienne des relations, qui met la causalité au centre du problème qui devient celui de l'induction. La causalité s'est bien fossilisée au cœur du problème sans pourtant lui être essentielle.

2.1.2. Mill et la connexion entre causalité et loi de la nature.

Entre Hume et Mill, la connexion s'établit entre le caractère problématique de la catégorie de causalité et le concept de loi de la nature. Voici comment Mill articule le problème de l'induction, la relation de causalité et la notion de loi de la nature.

2.1.2.1.La « Loi de causalité ».

Dans le troisième livre de son *Système de logique*, il commence par une analyse logique du raisonnement inductif, et l'identifie à la procédure incertaine de *généralisation* (des cas observés au cas non-observés). Puis, en suivant Hume, il montre au chapitre III que toute induction suppose, pour être valide ou légitime, un principe :

> Il y a dans la nature des cas parallèles, [et] ce qui arrive une fois arrivera encore dans des circonstances suffisamment semblables, et de plus arrivera aussi souvent que les mêmes circonstances se représenteront. C'est là, dis-je, un postulat impliqué dans chaque induction. (Mill, 1866, p. 347)

Rien de bien différent de chez Hume : il faut admettre un postulat métaphysique d'induction en prémisse de toute induction particulière. C'est au chapitre suivant que Mill parle de lois de la nature :

> […] Lorsque ces diverses uniformités sont constatées par une induction jugée suffisante, on les appelle communément des Lois de la Nature. (Mill, 1866, p. 356)

Ici, « loi de la nature » désigne la conclusion d'une induction particulière, quand elle est « jugée suffisante ». On atteint une loi de la nature qu'on peut légitimement tenir pour justifiée lorsqu'on l'a

induite d'une uniformité observée. C'est pourquoi, au chapitre suivant, il caractérise toute loi comme le résultat d'une procédure épistémologique de généralisation inductive :

> […] D'après cette terminologie, toute généralisation inductive bien fondée, est ou une loi de la nature ou un résultat des lois de la nature, susceptible, si ces lois sont connues, d'être prévu. Le problème de la logique inductive peut ainsi se résumer en ces deux questions : Comment constater les lois de la nature, et comment, après les avoir constatées, les suivre dans leurs résultats ? (Mill, 1866, p. 359)

On a quitté ici la question, métaphysique, du principe qui fonde les inductions en général, pour ne regarder que les résultats des inductions particulières, les lois de la nature. Ce que dans ce passage Mill désigne par « le problème de la logique inductive », c'est le défi de la méthode expérimentale des sciences naturelles : établir des hypothèses nomologiques par confirmation inductive, et en tirer des prédictions pour mieux les confirmer encore. C'est dans le chapitre V que Mill fait la connexion entre ces inductions particulières, qui aboutissent à la formulation de lois de la nature, et le principe général et métaphysique d'induction. Et il présente explicitement le principe de l'induction comme l'une des lois obtenues par généralisation, la plus indéfectible et universelle :

> […] Maintenant, parmi toutes les uniformités de succession des phénomènes que l'observation commune peut mettre en lumière, il ne s'en est trouvé qu'une seule capable de justifier complètement [cette rigoureuse indéfectibilité]. Cette loi, cependant, est universelle aussi en un autre sens ; elle est coextensive avec le champ tout entier des phénomènes, car tous les faits de succession en sont des exemples. Cette loi est la Loi de Causalité. […] Elle se réduit à cette assertion : « c'est une loi que tout événement dépend d'une loi » ; « c'est une loi qu'il y a une loi pour toute chose. » […] Certains faits succèdent et, croyons-nous, succèderont toujours à certains autres faits. L'antécédent invariable est appelé la Cause ; l'invariable conséquent l'Effet ; et l'universalité de la loi de causation consiste en ce que chaque conséquent est lié de cette manière avec quelque antécédent ou quelque groupe d'antécédents particuliers. […] De l'universalité de cette vérité dépend la possibilité de soumettre à des règles le procédé inductif. La parfaite assurance qu'il y a une loi à trouver si on sait comment la trouver est, on va le voir, la source de la validité des règles de la logique Inductive. (Mill, 1866, pp. 368-370)

Dans ce texte, Mill identifie clairement le principe d'induction à un principe de causalité universelle. Faisons deux remarques. Premièrement, le mouvement par lequel Mill, du chapitre III au chapitre V, remonte à la vraie nature du principe d'induction en passant par une définition des lois comme les résultats des inductions particulières, *détermine le problème de l'induction*. Chapitre III : toute généralisation inductive se fonde sur le principe d'induction. Chapitre IV : les lois sont les généralisations inductives légitimes. Chapitre V : Mill y distingue deux grands types de lois : les lois de coexistence (principalement des principes arithmétiques et géométriques) et les lois de succession, qui

ordonnent les phénomènes dans le temps. Le principe d'induction est une de ces lois de succession, celle qui est la plus rigoureuse et universelle, c'est-à-dire la loi de causalité. Dès lors, le problème de l'induction se pose fatalement : comme le principe général d'induction, qui rend toutes les inductions particulières possibles, est lui-même une loi de la nature et donc le résultat d'une induction particulière, toute cette construction est circulaire et le problème de l'induction est insoluble. Il faut noter que Mill était parfaitement conscient de cette circularité, qui n'est problématique que si l'on exige une fondation absolue et rationnelle de la science inductive, ce qui n'est pas son cas.

Deuxièmement, il y a une connexion remarquable entre loi et causalité. On trouve à première vue une forme d'équivalence entre une formule : « les mêmes causes sont suivies des mêmes effets », et une autre : « c'est une loi que tout dépend d'une loi ». Mais en réalité, l'entrelacement des deux notions est beaucoup plus précis, il forme un double nœud, en vertu duquel premièrement toute causalité est nomique, c'est-à-dire se fait selon une loi, et deuxièmement toute loi est causale, c'est-à-dire se manifeste par une connexion causale entre phénomènes.

2.1.2.2.Causalité et nomicité.

Commençons par le fait que la causalité soit nomique. Une connexion causale n'a d'intérêt scientifique, et ne légitime une induction particulière, que si elle relie un phénomène particulier A avec un autre B *en vertu d'une règle générale concernant les types de choses que sont A et B*. Autrement dit, la causalité universelle exclut les causations uniquement singulières. La causalité, ce n'est pas simplement l'existence de connexions nécessaires entre phénomènes particuliers, mais aussi leur soumission à des règles générales de connexion, des lois[92]. Si on regarde de près le texte de Mill, on voit ce passage : la loi de causalité dit non seulement que rien n'arrive sans cause ou comme il dit, « que tout ce qui commence d'être a une cause », mais surtout que cette connexion causale entre deux faits successifs se fait selon une loi générale reliant le type de cause qu'est A et le type d'effet qu'est B.

Au contraire, une causation seulement singulière peut très bien ne jamais se répéter identiquement, et donc ne permet aucune généralisation inductive ; si jusqu'ici Emmanuel fait sa promenade quotidienne à 16h, comme chaque promenade de 16h est produite par une décision toujours singulière, personne n'est fondé à généraliser la proposition et à prédire qu'à l'avenir, il sortira tous les jours se promener à 16h – sinon en se reposant sur l'habitude, dont Hume a bien montré qu'elle n'était pas un fondement logique. Ainsi, la causalité doit être nomique si elle doit pouvoir servir de fondement aux inductions particulières. Plus précisément encore, la causalité est nomique au sens où les connexions causales sont contraintes à se répéter selon une règle de mêmeté. Si les séquences causales ne se

[92] On trouve aussi ce raisonnement chez (Armstrong, 1993b).

ressemblaient pas dans le temps, alors elles ne seraient pas nomiques. Dans la configuration classique du problème, le Principe de l'induction devient : « les *mêmes* causes sont suivies des *mêmes* effets ».

Ensuite, et inversement, la notion de loi est déterminée par la notion de causalité, au sens où toute loi nous semble causale ou plutôt *se manifeste causalement*. La causalité devient le moyen par lequel une loi a cours et se manifeste dans les phénomènes particuliers. Toute loi est alors définie comme un rapport constant entre un type de causes et un type d'effets. Pour un phénomène particulier, dépendre d'une loi, et donc être prédictible ou explicable par une loi, c'est être un type fixé d'effet, et être causé par un type déterminé de cause. Or, comme la causalité est un principe de succession, et concerne la connexion des phénomènes dans le temps, si toute loi gouverne causalement les phénomènes, cela veut dire que la loi les gouverne dans leur succession. Autrement dit, *le temps* est la dimension dans laquelle la loi a cours, et elle a cours en contraignant *la succession* (causale) des phénomènes. Concevoir ainsi la façon dont elle a cours et s'applique aux phénomènes, c'est la concevoir comme une loi causale.

Or c'est précisément cette thèse profondément métaphysique que nous voulons remettre en cause. Elle est une conséquence du fait que c'est par la causalité qu'on est arrivé à la loi, dans la constitution historique du problème de l'induction. Pourtant, nous n'avons pas besoin de déterminer les lois de la nature comme causales pour poser le problème métaphysique de l'induction. L'introduction du concept de loi était nécessaire, parce qu'une causation seulement singulière n'intéresse pas le scientifique et ne fonde en rien l'induction. Mais inversement, le maintien de la dimension causale et donc temporelle du cours de la loi dans les phénomènes n'est absolument pas nécessaire pour poser le problème de l'induction. Le concept de loi suffit amplement à pour cela :

(1) Toute loi est le résultat d'une généralisation inductive.
(2) Toute généralisation inductive est fondée sur un principe d'induction.
(3) Ce principe est une loi qui dit : « C'est une loi de la nature que tous les phénomènes sont soumis à des lois »

Le problème peut très bien se poser ainsi : si le Principe d'induction (3) est une loi de la nature, absolument générale, alors on peut lui appliquer (1) : il est à son tour le résultat d'une induction. Mais comme (2) toute induction présuppose le Principe d'induction (3), il ne peut être atteint sans circularité. Le problème de l'induction est posé sans référence à la causalité, dont la catégorie n'est donc absolument pas nécessaire à sa formulation rigoureuse.

2.1.3. Russell et le spectre de la causalité.

Avant de passer à notre second argument, nous voudrions répondre à une possible objection, à l'occasion d'une référence à Russell. Que l'on puisse formuler le problème de l'induction en n'ayant

recours qu'au concept de loi, sans mentionner de loi de causalité, cela est trivial, nous dira-t-on, puisque toute loi de la nature n'est pas causale. Mill admettait des lois de coexistence, qui exprimaient par exemple les contraintes géométriques qui pèsent sur les phénomènes qui coexistent dans un même espace. Mais les lois causales ont malgré cela une place à part dans l'édifice de la connaissance, et un lien privilégié avec l'induction, puisqu'elles qui sont responsables de l'uniformité de la nature dans le temps, qui fondent les régularités de succession que nous expérimentons, et donc les prédictions que nous formulons. Autrement dit, s'il peut se formuler sans la causalité, le problème de l'induction ne serait néanmoins intéressant que dans le cas des lois causales.

Cette objection exprime l'influence très forte qu'a eue la causalité sur notre conception des lois de la nature, au point de nous rendre aveugles sur la détermination, sinon la déformation, qu'elle lui a fait subir. La question n'est pas d'avouer que les lois causales ne sont qu'un type de loi de la nature, si c'est pour ajouter que ce sont les seules qui comptent (pour l'augmentation de notre connaissance). Surtout, une préconception causaliste entache notre concept de loi, et qui se lit dans la façon dont nous concevons comment une loi a cours ou pourrait cesser d'avoir cours : dans le temps.

L'exemple de Russell est frappant à ce titre, lui qui a vertement critiqué la pertinence de la catégorie de causalité pour l'analyse des vérités scientifiques, et affirmé que les lois établies par les sciences, *mathématiquement* formulées, n'étaient pas causales (Russell, 1912), le même Russell s'avère tout à fait hanté par le spectre de la causalité, et n'en a pas débarrassé le problème de l'induction. On s'en aperçoit facilement en lisant le sixième chapitre des *Problèmes de philosophie*, où Russell ne fait aucune mention explicite de la causalité dans sa formulation du principe de l'induction. Ce principe ne dit plus que les mêmes causes produisent les mêmes effets, mais que les lois qui valaient pour les phénomènes passés continueront de s'appliquer à l'avenir. Plus loin il écrit encore que « croire en *l'uniformité de la nature*, c'est croire que tout événement, passé ou futur, est une instance d'une loi générale qui n'admet pas d'exception » (Russell, 1989, pp. 85-86). Mais dans son esprit, le problème reste celui de la possibilité que les lois qui étaient vraies et valides jusqu'à aujourd'hui, ne le soient plus demain ; qu'elles disparaissent et soient remplacées par d'autres lois, ou une absence totale de loi. Le problème de l'induction viendrait donc de *la possibilité de l'impermanence des lois de la nature*. Ce qui rend l'induction problématique et incertaine, c'est la contingence des lois, au sens où elles peuvent changer dans le temps.

Au sortir de ce parcours historique, on hérite d'un Principe de l'induction qui postule l'« Uniformité de la nature dans le temps » sans mention explicite de la causalité. Le problème de l'induction serait ainsi de démontrer la vérité de ce principe. Or nous pensons que cette formulation du principe résulte néanmoins du lien historique entre l'induction et la catégorie de causalité, et continue d'exprimer une conception causaliste du mode de manifestation des lois dans les phénomènes particuliers – à savoir qu'elles s'appliquent en réglant *la succession* des phénomènes *dans le temps*. Nous affirmons en outre que cette influence persistante de la catégorie de causalité sur notre conception

des lois de la nature est néfaste, puisque la formulation du Principe de l'induction qu'elle détermine n'est pas adéquate. Venons-en donc maintenant à la critique directe de cette formulation, c'est-à-dire du principe de l'« Uniformité de la nature (dans le temps) ».

2.2.Les lois de la nature peuvent-elles changer ?

Dans la configuration que nous recevons aujourd'hui, le défi lancé par l'induction est de démontrer la vérité du principe dit de l'« Uniformité de la nature », qui postule la constance dans le temps des lois causales. Ce principe présuppose donc que les lois pourraient changer (dans le temps), mais qu'elles ne le feront pas, et c'est bien cela que nous devons maintenant critiquer.

2.2.1. Le principe de temporalité nomique.

Les lois sont stables, dit le principe d'uniformité. Elles résistent non seulement aux variations spatiales, mais *surtout* au passage du temps. Pourquoi « surtout » ? Pourquoi le temps plus que l'espace – et c'est l'indice de son statut tout à fait singulier dans la métaphysique classique – apparaît-il comme la dimension cruciale et dangereuse pour l'induction ? Examinons cette asymétrie du temps et de l'espace vis-à-vis de l'induction, pour formuler précisément ce que nous appelons « le principe de temporalité nomique » qui est au fond, selon nous, de la configuration classique du problème de l'induction. C'est ensuite à ce principe que nous nous attaquerons.

Soient des énoncés qui affirment des faits naturels généraux. Par exemple, que « tous les cygnes sont blancs », ou bien que « la courbure de l'espace est nulle ». Ces énoncés disent des régularités qui ne sont cependant pas le cas en tout lieu, dans tous les endroits de l'espace universel. La découverte de cygnes noirs en Australie interdit de prendre la régularité de la blancheur du cygne pour universelle. De même, il y a des points de l'espace physique où la courbure n'est pas nulle. Alors on en conclut que ces énoncés n'affirment *pas des lois*, mais des stabilités seulement locales, qui n'ont aucune nécessité ni aucune universalité, puisqu'elles ne sont pas le cas ailleurs. Dans les dimensions de l'espace, une rupture dans la stabilité des phénomènes ne signifie pas qu'une loi serait variable, changeante selon des localisations spatiales, mais qu'il n'y a pas de loi.

Mais ce qui se passe dans le temps est tout différent. On semble admettre plus naturellement qu'une régularité phénoménale puisse correspondre à une loi jusqu'à maintenant, et que la loi change demain, entraînant une rupture dans la régularité des phénomènes. Autrement dit, une loi de la nature pourrait valoir depuis la naissance de l'univers, mais à un moment donné du temps universel, cette loi cesserait d'avoir cours, pour être remplacée par une autre loi ou par une absence de loi. Le temps serait cette dimension tout à fait spéciale dans laquelle non seulement les choses particulières changent – comme dans l'espace – mais dans laquelle aussi *les lois* peuvent changer, tout en étant bel et bien des

lois et non des régularités locales. Le temps n'est pas que le temps des phénomènes particuliers qui vont et viennent, il est aussi le temps des lois. Nous appelons « principe de temporalité nomique » cette affirmation que les lois peuvent changer dans le temps universel.

Ce principe est présupposé par la formulation classique du problème de l'induction. Le principe de l'Uniformité de la nature dit que dans la nature, ce sont les mêmes lois qui ont cours tout au long du temps universel. Or cette stabilité dans le temps de la structure nomique de l'univers n'est manifestement pas une vérité nécessaire, sans quoi il suffirait de la démontrer *a priori*, et le problème métaphysique de l'induction serait résolu. Parler de l'Uniformité de la nature, c'est donc présupposer qu'une loi pourrait très bien valoir comme loi et gouverner pendant un temps les processus physiques particuliers, puis cesser de valoir ou remplacée par une autre. Pour un même domaine de phénomènes, par exemple le mouvement des corps matériels, ou encore la conduction de l'électricité, ou la courbure de l'espace, etc., pourraient se succéder dans le temps deux lois différentes et incompatibles. La loi L_1 régirait les phénomènes jusqu'à la date t, au-delà de quoi la loi L_2 les gouvernerait. Mais avant t, L_1 vaudrait bien comme loi, et à partir de t, L_2 aurait bel et bien cours. C'est cette possibilité, affirmée par le principe de temporalité nomique, qui rendrait problématique l'induction.

Contre ce principe, deux arguments vont être déployés. Premièrement, nous allons montrer que ce principe implique une conception irrecevable de ce que ce serait, pour une loi, de s'appliquer à des phénomènes particuliers. Il est contredit par l'analyse conceptuelle que nous allons proposer de ce que signifie, pour une loi, que d'« avoir cours ». Deuxièmement, nous avancerons que ce principe de temporalité nomique n'est pas recevable, parce qu'il présuppose indûment le résultat d'une induction.

2.2.2. Qu'est-ce, pour une loi de la nature, que d'avoir cours ?

Le principe de temporalité nomique énonce qu'une rupture dans une régularité phénoménale, qui correspondait à une loi, signifie que cette loi a cessé de valoir comme loi, ou encore, d'avoir cours. Mais qu'est-ce qu'une loi de la nature, et que signifie de dire qu'elle a cours dans un domaine de phénomènes ? Nous ne proposerons pas encore d'analyse précise de la nature des « lois de la nature », mais formulerons seulement une exigence à l'égard de toute ontologie des lois. Un énoncé nomologique est vrai si et seulement si la loi de la nature qu'il énonce est réelle et a effectivement cours. Une loi, à tout le moins, doit être quelque chose qui, en existant et en ayant cours, rend possible l'induction, et plus précisément la confirmation inductive des théories qui caractérise la physique moderne. Que signifie, pour une loi, que d'avoir cours ? Nous proposons de caractériser ainsi le cours d'une loi : une loi L a cours si et seulement si la vérité de l'énoncé nomologique remplit ces deux conditions :

> *(1) Si un énoncé nomologique est vrai, alors ce qui le rend vrai fonde les vérifacteurs des prédictions qui en dérivent déductivement.*

(2) Si un énoncé nomologique est vrai à l'instant i (et à l'endroit e), alors il est vrai à tout autre instant i' du temps universel et en tout autre lieu e' de l'espace universel.

La condition (1) a pour but de spécifier, avec le moins de présupposés ontologiques possibles, comment l'existence de la loi L fonde nos inductions, en particulier la confirmation inductive de l'énoncé nomologique « L » qui décrit la loi L. Pourquoi pense-t-on en général que la vérification expérimentale d'une prédiction, déduite d'un énoncé nomologique, vaut comme une *confirmation* de la vérité de cet énoncé ? A nouveau, nous nous plaçons dans une situation où les problèmes épistémologiques de la confirmation sont supposés résolus ou mis en suspens, et où tenir l'énoncé « L » pour confirmé est légitime. Cette confirmation présuppose alors seulement que le fait observé et prédit *est gouverné par la loi* décrite par l'énoncé nomologique. Ce dernier n'est confirmé que si le phénomène prédit est un cas où s'applique la loi.

Mais que signifie que « la loi s'applique » ? Nous donnons seulement une caractérisation ontologique minimale de l'application de la loi : une loi L s'applique sur le phénomène particulier p si et seulement si p est le cas en vertu seulement de l'existence de la loi L. Autrement dit, la loi L fonde le phénomène particulier p qui est un de ses cas particuliers. Nous proposons donc de concevoir que « être gouverné par la loi L », ou bien « être un phénomène particulier où la loi L s'applique », consiste ontologiquement dans le fait d'être un cas particulier de la loi, c'est-à-dire un fait particulier qui est entièrement fondé sur l'existence de la loi générale. Enfin, le phénomène particulier p est le vérifacteur de l'énoncé particulier de prédiction.

Ainsi, la condition (1) dit simplement que ce qui rend vrai l'énoncé nomologique, l'existence de la loi L, est le fondement ontologique de ce qui rend vrai l'énoncé de prédiction, à savoir le phénomène particulier p. Si elle est bien le cas et que l'énoncé nomologique est vrai, alors les prédictions que nous en déduisons concernant les phénomènes non-observés, futurs ou passés, qui tombent dans le domaine de validité de L, peuvent confirmer l'énoncé si elles sont vérifiées. La condition (1) ne permet donc rien d'autre que cela : l'existence d'une loi de la nature, en quoi consiste la vérité de l'énoncé nomologique, confère à la vérification d'une prédiction sa valeur épistémologique de confirmation.

La condition (2) est une conséquence de la première. Elle affirme simplement qu'un énoncé nomologique n'est pas de ceux qui peuvent être vrais aujourd'hui, et faux demain. S'il est vrai aujourd'hui, c'est que la loi L existe et a cours. Or si elle existe et a cours, elle englobe dans son cours *tous* les phénomènes qui tombent dans son champ d'application. Autrement dit, une loi ne peut pas exister et avoir cours à une certaine époque du monde, mais pas à une autre. Cette condition (2) est impliquée par la condition (1), c'est-à-dire dès lors que nous postulons, ici et maintenant, que l'énoncé de L est vrai et que nous en tirons des prédictions susceptibles de le confirmer. Quel sens y aurait-il en effet à déduire *aujourd'hui* d'un énoncé nomologique des prédictions concernant un phénomène à venir, prédictions dont la vérification *demain* confirmerait la validité d'une loi L, si l'on considère par ailleurs

que dans ce futur, la loi L n'existerait pas et ne vaudrait pas comme aujourd'hui ? Dans le simple fait de *prédire* aujourd'hui, on présuppose nécessairement la condition (2).

Lorsque nous posons ces conditions, nous ne disons pas encore quelle conception des lois de la nature il faudrait adopter pour les satisfaire. Ce sont seulement des conditions qui doivent contraindre toute conception des lois de la nature, si leur existence est le fondement ontologique de la possibilité de la confirmation inductive des énoncés nomologiques. Il nous faudra ensuite proposer une conception des lois, et montrer comment elle les satisfait. On sait déjà qu'une théorie des lois qui satisfait la condition (1) doit normalement satisfaire la (2). Mais l'inverse n'est pas vrai. La théorie d'Armstrong identifie les lois de la nature à l'instanciation d'une relation N entre deux universaux comme F et G. La loi consiste donc en un fait atomique contingent concernant les universaux F et G. Il se demande alors si ce fait contingent peut suffire pour assurer la stabilité de la loi de la nature à travers le temps :

> On essaie parfois […] de montrer que si la relation entre universaux est seulement contingente, alors il est possible qu'elle change avec le temps, ce qui rappelle à nous le problème de l'induction. Mais en faisant cet argument, on démontre surtout qu'on a perdu de vue de ce que sont les universaux. (Armstrong, 1983, p. 160)
>
> Si F et G sont reliés par une relation dyadique, une relation qui n'a que ces deux universaux pour termes, alors […] il n'y a aucun sens à dire qu'ils sont reliés d'une certaine façon en un endroit et un temps, mais reliés autrement en un autre endroit et un autre temps. N(F,G) et ~N(F,G) sont des états de choses incompatibles. Nous devons encore comprendre comment une telle relation est reflétée au niveau des particuliers. Mais si elle est le cas dans une instance, alors elle l'est dans toutes, parce qu'elle est une seule et même chose à travers toutes ses instances. (Armstrong, 1983, p. 79)

Il affirme qu'en vertu de la nature des universaux, qui sont entièrement identiques à eux-mêmes à travers leurs diverses instances, si une loi existe, qui consiste dans le fait que F et G instancient la relation N, alors la loi est universellement le cas. Elle ne peut pas avoir de limitation spatiale ou temporelle, puisqu'elle est un état de choses impliquant des universaux et non des particuliers spatio-temporels. La conception des lois d'Armstrong satisfait donc pleinement la condition (2). Mais la critique que nous avons formulé contre la théorie DTA à la section 1.3. montre que la condition (1) n'est pas remplie par la théorie d'Armstrong, qui s'avère en effet incapable d'expliquer pourquoi les états de choses F(a) et G(a) sont des cas particuliers de la loi en vertu seulement de l'existence de la loi N(F,G). C'est un bon exemple d'une théorie qui satisfait la condition (2) sans satisfaire la (1).

2.2.3. La temporalité nomique contredit l'analyse conceptuelle du cours de la loi.

Nous en arrivons à notre premier argument contre le principe de temporalité nomique : il est contredit par les conditions (1) et (2). Raisonnons à partir de l'exemple humien des boules de billard, et

notre conclusion sera aisément généralisable à tout phénomène naturel. Si nous imaginons une boule de billard qui se meut en ligne droite vers une autre, nous nous attendons à ce que le choc communique une certaine quantité de mouvement à l'autre boule, qui part avec une vitesse et dans une direction déterminées par la loi des chocs L_1. C'est en tout cas ainsi que se sont comportées toutes les boules de billard dans le passé. Mais nous pouvons aussi imaginer qu'au moment du choc, la seconde boule reste sur place et absorbe toute l'énergie sans bouger, ou parte à la vitesse de la lumière pour perforer un adversaire, tué sur le coup, comme dans la nouvelle d'Asimov[93].

Soit *i* l'instant du choc. Croire que L_1, vraie avant *i*, a été remplacée par une autre loi L_2 (ou par aucune) à partir de *i*, serait contradictoire avec la condition (2). D'après (2), si l'énoncé de L_1 est vrai avant *i*, il est vrai à tout instant, $i+1$, etc. Or, si la loi des chocs cesse de valoir à l'instant *i*, l'énoncé qui la dit devient faux à l'instant *i.* Donc l'énoncé est à la fois vrai et faux à l'instant *i*, ce qui est contradictoire. Qui plus est, la prédiction qui, avant *i* affirme qu'à l'instant *i* la boule de billard se comportera de telle façon, conformément à la loi des chocs, se fonde sur la vérité de cette loi. Avant *i*, si la loi est vraie, la prédication est vraie. Or, si la boule à l'instant *i* montre effectivement un comportement aberrant ou imprévu, alors la prédiction était fausse avant *i*. Donc la prédiction avant *i* était à la fois vraie et fausse, ce qui est contradictoire.

Le principe de temporalité nomique, qui affirme qu'une loi de la nature peut soudainement changer, et manifester ce changement par une rupture dans une régularité phénoménale, est donc contredit par les conditions (1) et (2). Or ces conditions dérivent, selon nous, de la simple analyse de ce que doit être une loi de la nature, et de ce que doit signifier le fait qu'elle a cours, pour rendre possible *dès aujourd'hui* la physique expérimentale et la confirmation inductive des énoncés nomologiques.

Que disent, alors, ces conditions lorsqu'un événement aberrant se produit qui contredit notre théorie, comme cette boule de billard qui ne se comporte plus en conformité avec ce qu'énonçait notre physique ? Que notre énoncé nomologique est *et était* faux. Si effectivement le comportement de la boule de billard ne répond plus à la loi qu'on tenait pour vraie, c'est que cette loi n'existe pas et n'a jamais eu cours, et que nous sommes dans un univers où il n'y a pas *cette loi* (des chocs), et où peut-être il n'y a *aucune loi* (des chocs). De manière plus générale, les contraintes (1) et (2) sur le concept de loi de la nature implique que la possibilité métaphysique d'une rupture des régularités phénoménales ne signifie pas que les lois peuvent changer, mais d'abord que les lois que nous tenions pour vraies ne l'étaient pas et ne l'ont jamais été, et ensuite qu'il y a peut-être d'autres lois plus complexes, ou pas de lois du tout, pour gouverner ces phénomènes.

Le problème métaphysique de l'induction ne vient donc pas de ce que, possible aujourd'hui, l'induction cesserait de l'être demain. Si elle est possible aujourd'hui, elle l'est en principe et le sera donc encore demain. Le problème est plutôt que nous ne savons pas s'il y a des lois de la nature, et par

[93] « The Billiard Ball », in *Asimov's Mysteries* (Doubleday, 1968).

conséquent, si l'induction est *dès aujourd'hui* possible. Peut-être nous leurrons-nous, en croyant que les confirmations répétées de nos meilleures théories nous font connaître les arcanes nomiques de la nature.

Le tenant de la temporalité nomique peut néanmoins refuser l'argument précédent, en alléguant que ce n'est pas en faisant la sémantique de nos énoncés nomologiques qu'on prouvera que les lois de la nature ne peuvent pas changer. Plus précisément, il maintiendra la condition (1) en affirmant que *tant qu'une loi a cours*, cette loi rend effectivement possible notre physique expérimentale et nos démarches de confirmation inductive. Mais refusant notre sémantique des prédictions, il affirmera que rien n'empêche néanmoins que cette loi puisse cesser demain d'avoir cours, pour être remplacée par une autre loi, voire un chaos sans loi. Les connexions nécessaires entre les phénomènes successifs peuvent cesser d'être réglées par la même loi, ou cesser de suivre une loi. C'est pour répondre à cette résistance que nous proposons maintenant un second argument, entièrement métaphysique.

2.2.4. La temporalité nomique présuppose un principe d'induction.

Il est essentiel, pour qui soutient le principe de temporalité nomique, d'admettre qu'une rupture dans l'uniformité des phénomènes équivaut à un changement dans la loi de ces phénomènes. Notre adversaire doit admettre cet énoncé biconditionnel :

> *La loi L change à l'instant i si et seulement si (a) une régularité phénoménale s'interrompt à l'instant i, et bien sûr, (b) cette régularité correspondait à la loi L au moins jusqu'à cet instant.*

Pour commencer, la clause (b) est évidente, puisque si la régularité ne répondait avant *i* à aucune loi, la question ne se pose même pas. Ensuite, notre adversaire doit bien admettre que si la loi change, alors la régularité phénoménale doit être rompue. Si ce n'était pas le cas, alors la possibilité que les lois changent ne serait d'aucune signification pour la possibilité de l'induction scientifique. Mais surtout, le tenant de ce principe doit aussi admettre la contraposée. L'interruption de la régularité des phénomènes, et le fait que les choses se comportent soudain d'une façon étrange et nouvelle, impliquent que la loi L n'a plus cours. Autrement dit, ce qui invaliderait toute généralisation inductive, à savoir l'interruption de l'uniformité, implique un changement ou une disparition de la loi. C'est cette implication, essentielle pour soutenir le principe de temporalité nomique, que nous allons examiner et critiquer maintenant.

En quoi une rupture dans l'uniformité des phénomènes, impliquerait que la loi cesse d'avoir cours et de valoir comme loi ? Imaginons à nouveau que le comportement de nos boules de billard, stable dans le passé parce qu'il était gouverné par la loi L, connaisse soudain, à l'instant *i*, une évolution erratique. Comment peut-on en inférer que c'est la loi L qui cesse d'être valide et de gouverner le comportement des corps ? Nous allons montrer que cette inférence présuppose le résultat d'une induction, et qu'elle est par conséquent circulaire.

On remarque que le tenant de cette temporalité nomique ne peut pas souscrire à la position régulariste sur la nature des lois de la nature. En effet, si l'interruption d'une régularité signifie la fin du cours d'une loi, alors cette loi ne peut pas être cette régularité. Parmi un régulariste, une loi est une régularité *universelle*, qui concerne *tous* les phénomènes du domaine. Donc si une irrégularité surgit, un régulariste devrait dire que ce qu'on prenait pour une loi, dans l'espoir que l'uniformité se laisse généraliser à tous les cas, n'en était en réalité pas une. Donc pour conclure d'une irrégularité que la loi cesse de valoir ou change, le tenant de la temporalité nomique doit penser que la loi n'est pas une régularité, mais se manifeste dans les régularités en les nécessitant. Dès lors, comment une irrégularité dans une série de phénomènes peut-elle nous apprendre qu'une loi a changé ou disparu ?

Pour en arriver à cette conclusion, le tenant de la temporalité nomique doit présupposer que si la loi avait continué d'avoir cours, alors l'uniformité des phénomènes eût été prolongée. C'est un énoncé contrefactuel, qui porte sur des faits particuliers qui ne se sont pas produits : les boules de billard se seraient comportées après *i* comme avant *i* si la loi ne s'était pas modifiée. Or cet énoncé contrefactuel ne peut se fonder que sur la proposition générale suivante : *la façon dont toute loi a cours dans les phénomènes est leur uniformité.* Autrement dit, ce raisonnement présuppose un principe très général, que nous appelons le « Principe formel de l'uniformité », et qui porte sur la forme de la manifestation phénoménale d'une loi. Ce principe énonce, tout simplement, qu'une loi de la nature se manifeste dans l'expérience *par l'uniformité* des phénomènes. C'est ce principe qui nous semble illégitime.

Deux précisions seront utiles pour bien le comprendre. Il faut, premièrement, nettement le distinguer de ce que nous appelions plus haut le « principe d'uniformité de la nature », qui dit que les lois de la nature sont stables. Mais le principe *formel* de l'uniformité énonce que *s'*il y a des lois de la nature, *alors* elles se manifestent dans les phénomènes dont nous faisons l'expérience, par leur uniformité. C'est donc un principe conditionnel, suspendu à l'existence des lois. Deuxièmement, ce principe énonce que l'existence d'une loi qui a cours implique une uniformité dans les phénomènes, et non que toute uniformité signale une loi. On s'aperçoit donc qu'il est en jeu quand on suppose la contraposée de cette implication : une rupture dans l'uniformité des phénomènes implique la fin du cours d'une loi – autrement dit que la loi change sans loi, et devient autre.

Or, tant vaut ce principe, tant vaut l'idée que la temporalité nomologique est un problème pour l'induction. Si ce principe est faux, ou même illégitime, alors la soi-disant possibilité que les lois changent ne pourra plus être prise pour le fond du problème de l'induction. Nous devons donc donner une bonne raison de ne pas présupposer ce principe formel d'uniformité. En réalité, elle est toute trouvée et nous ne l'inventons pas : ce principe formel subit le même sort que le principe matériel de l'uniformité. Il ne peut ni être prouvé *a priori*, ni démontré par expérience sans circularité.

En effet, la raison aidée de l'imagination nous montre que ce principe n'a rien de nécessaire *a priori*, puisqu'on peut très bien concevoir une loi qui, tout en continuant d'avoir cours et de gouverner les phénomènes, change la forme de sa manifestation. Une loi des chocs peut très bien s'énoncer ainsi :

« Deux corps qui se choquent réagissent selon l'équation E_1 s'ils existent avant l'instant *i*, ou selon l'équation E_2 s'ils existent après *i* ». La présence de ce paramètre, l'instant *i*, est ce qu'on appelle une caractéristique positionnelle. Pour nous convaincre de la plausibilité d'une telle loi, imaginons simplement que le phénomène du choc soit intrinsèquement lié à la structure locale de l'espace-temps. Si c'était le cas, alors l'évolution de l'univers fait de cet instant *i* un point d'inflexion dans les équations du choc. Pourtant, la loi est toujours unique et fixe. Elle pose simplement un rapport évolutif entre le temps et d'autres grandeurs physiques. La présence de ce paramètre positionnel n'empêche pas la loi, si elle existe, d'être valide en tout temps (et en tout lieu), et surtout de fonder la possibilité de l'induction.

Nous pourrions prendre un exemple plus plausible, celui de la théorie MOND (*MOdified Newtonian Dynamics*), qui est une version amendée de la théorie du mouvement de Newton. On connaît la deuxième loi de Newton, le « principe fondamental de la dynamique » : toute force est proportionnelle à l'accélération par le facteur de la masse (inerte). Dans les années 1980, le physicien Mordehai Milgrom propose de modifier cette loi pour rendre compte des comportements des très gros objets astronomiques : les galaxies ou amas de galaxies. Il présente une version de cette équation où la relation de proportionnalité varie aussi en fonction de la distance. De telle sorte que la vieille loi de Newton est de moins en moins valable à mesure que les distances augmentent.

Dans un cas comme dans l'autre, nous avons l'exemple d'une loi qui, si elle avait cours, impliquerait une modification dans le temps ou dans l'espace de sa manifestation phénoménale. En fonction de la valeur du paramètre positionnel, la manifestation de la loi varie. L'imagination mathématique nous apprend donc que le cours régulier et nécessitant d'une loi n'implique logiquement aucune uniformité phénoménale. Par conséquent, le principe d'uniformité phénoménale n'est pas une vérité nécessaire, et ne peut donc être démontré que par l'expérience.

Il serait donc une généralisation empirique, qui s'impose à nous parce que jusqu'à maintenant, le cours supposé d'une loi se manifestait dans une stabilité phénoménale. Or généraliser ce constat à toute la nature revient à faire une induction. Tenir pour universellement vrai que toute loi de la nature se manifeste par une uniformité dans les phénomènes, est la conclusion d'une induction. C'est donc présupposer que l'induction est possible, ce qui est évidemment très problématique pour quelqu'un qui tient que la nature peut à tout moment dérailler. Par conséquent, il y a quelque chose de profondément incohérent à dire qu'une rupture dans l'uniformité des phénomènes traduirait l'instabilité de la nature et de ses lois. Car cela présuppose que la loi, s'il y en a une, qui s'est manifestée jusqu'ici sous la forme d'une uniformité, continuera de régler sous cette même forme le cours des phénomènes. En faisant cette généralisation, on présuppose indûment qu'il y a une loi qui gouverne la façon dont les lois de la nature se manifestent dans les phénomènes : le principe formel de l'induction.

Ainsi, nous pensons pouvoir rejeter le principe de temporalité nomique, parce qu'il est contredit par le concept de loi et l'analyse que nous proposons de ce que signifie qu'une loi ait cours, et parce qu'il présuppose qu'au moins une loi ne change pas : la loi qui gouverne la forme de la manifestation

phénoménale des lois, et qui permet donc de dire qu'une rupture d'uniformité dans les phénomènes implique un changement dans les lois de ces phénomènes.

2.2.5. Temporalité nomique et causalité : les bénéfices de leur disqualification.

Nous pouvons, maintenant, raccrocher notre critique de la temporalité nomique avec l'aperçu historique du problème de l'induction et de la causalité. Ensuite, nous proposerons une formulation, à notre avis plus correcte, du problème de l'induction, et expliquerons en quoi la disqualification de la temporalité nomique en est bel et bien une simplification.

Il y a en effet une deuxième raison, non empirique, pour laquelle le principe formel d'uniformité passe pour si évident. Cette évidence apparente est, croyons-nous, l'influence encore active de la vieille catégorie de causalité. On se souvient que, alors qu'elle était au cœur du problème de l'induction chez Hume et Mill, la causalité a pu s'effacer nominalement de la formulation du Principe de l'induction chez Russell. On aboutissait au principe d'uniformité de la nature. Nous pouvons maintenant voir comment la causalité reste malgré tout présente dans les notions d'uniformité et de stabilité.

On se rappelle comment la causalité et la nomicité se nouaient dans la section 2.1.2.2. Toute loi était prise pour causale, c'est-à-dire que toute loi se manifeste entre les phénomènes en réglant leurs connexions dans le temps. L'existence de lois causales de la nature implique que les mêmes séquences phénoménales se répètent à l'identique dans le temps, ou comme on dit, que le futur ressemblera au passé. Autrement dit, c'est parce qu'on présuppose encore que toute loi est causale, qu'on perçoit alors comme évident que toute loi se manifeste en imposant une uniformité dans les successions des phénomènes. Même occultée, la catégorie de causalité continue de déterminer la façon dont on conçoit la manifestation de la loi, par des connexions uniformes entre phénomènes dans le temps. C'est donc la catégorie de causalité qui est responsable de l'apparente consistance du principe de temporalité nomique. On s'imagine, et on croit que cela fait sens, que dans la nature les lois sont stables, mais pourraient changer, parce qu'on se représente ainsi des successions causales qui sont les mêmes pendant un certain temps, puis cessent de se ressembler et donc de répondre d'une loi.

Mais le principe de temporalité nomique n'est pas tenable, et il faut écarter l'idée de lois qui pourraient changer dans le temps. Le principe de l'induction ne concerne pas la permanence ou le changement de « lois causales », mais l'existence ou non de lois. Leur caractère causal ou non ne concerne que la conception que nous nous faisons de leur instanciation dans les phénomènes particuliers. Mais dès qu'il existe des lois, elles sont le cas partout et pour toujours dans la nature, parce qu'il n'y a en réalité aucun sens à s'imaginer qu'elles puissent changer.

Nous pouvons donc proposer une formulation plus correcte du problème de l'induction, c'est-à-dire du problème métaphysique qu'il faut résoudre pour fonder la possibilité des inductions et de la connaissance de la nature par la physique expérimentale. Nous sommes parfaitement d'accord avec

Armstrong pour dire qu'il ne faut pas chercher à montrer que les lois sont nécessaires – en tout cas ce serait parfaitement inutile pour l'induction scientifique. Des lois contingentes suffisent amplement, *pourvu qu'elles existent*. Tout ce dont nous avons besoin, c'est de parvenir à prouver *l'existence* de lois de la nature, ce qui est déjà colossal. Le problème de l'induction vient tout simplement de la possibilité qu'il n'y ait aucune loi, et que nous vivions, et surtout expérimentions, expliquions et prédisions, au sein d'un monde parfaitement humien d'uniformités purement accidentelles. Ce problème est plus simple, parce que n'avons à démontrer *que l'existence* de lois, sans ajouter le souci de leur instable stabilité.

2.3.La vérité nomologique comme fondement de l'induction.

Nous pouvons maintenant exprimer clairement quelle(s) contrainte(s) pèsent sur la conception ontologique des lois de la nature, pour que leur existence puisse servir de fondement à la possibilité de l'induction. Au fondement de l'induction, nous plaçons ce qu'on peut appeler « Principe matériel de l'induction », pour le distinguer nettement du Principe formel de l'induction explicité plus haut :

> *(PMI) Tout particulier (d'une classe de régularité) est instance de la même loi de la nature que les autres particuliers de la même classe.*

Ce principe matériel énonce que tout phénomène particulier, qu'il soit passé, présent ou futur, est une instance d'au moins une loi de la nature. Les particuliers concernés par (PMI) sont tous ceux qui entrent dans une ou plusieurs classe(s) pertinente(s) de particuliers, que nous appelons « classe de régularité ». L'expression désigne tout simplement le périmètre de la loi. (PMI) ne fait plus aucune mention d'une quelconque « stabilité » des lois de la nature, puisque nous avons montré pourquoi il ne fallait pas supposer que les lois puissent changer. Le temps, pas plus que l'espace, n'est une dimension dangereuse pour l'induction. Ce qui menace la possibilité de l'induction n'est pas qu'un changement, voire un écroulement, puissent se produire dans la structure nomique de la nature. C'est seulement, si l'on puit dire, l'absence pure et simple de lois.

Ensuite, (PMI) peut être décomposé en une thèse existentielle et une thèse de fondation. La thèse existentielle affirme qu'*il existe* des lois de la nature correspondant à tous les phénomènes qui intéressent les scientifiques. Nous reviendrons plus loin sur cette thèse, en tentant de la démontrer partiellement. Dans ce chapitre, c'est surtout la seconde partie du principe matériel de l'induction qui nous intéresse. Elle concerne la façon dont nous devons concevoir la nature des lois pour que, en supposant qu'elles existent, elles fondent la possibilité de l'induction. A la section 2.2.2., nous expliquons que pour confirmer inductivement un énoncé nomologique, il faut en déduire une conséquence observable. Ensuite, on considère que l'observation qui vérifie expérimentalement cette conséquence confirme l'énoncé nomologique, seulement si le phénomène observé est une instance particulière de la loi en vertu

seulement de ce qui rend vrai l'énoncé nomologique, à savoir *l'existence* de la loi. On peut donc s'apercevoir maintenant que le fondement de la possibilité de la confirmation inductive des énoncés nomologiques est conditionné par des réquisits bien connus, qui font partie de la liste dressée à la section 1.4. : (R3) énonce l'exigence que la loi de la nature *fonde* les faits particuliers qui sont ses cas particuliers, et (R4) affirme le réquisit que la formulation que nous donnons de l'énoncé nomologique doit permettre d'en inférer déductivement les énoncés d'observation de ces cas particuliers. Une conception de la nature des lois de la nature aura donc satisfait aux exigences de fondement de l'induction (en mettant en suspens la question de l'existence des lois) lorsqu'elle aura rempli ces réquisits. Tournons-nous maintenant vers cette nouvelle conception que nous proposons.

3. La conception DVQ des lois de la nature : un régularisme quantitatif.

Cette section est consacrée à l'exposition de nos solutions aux différents problèmes construits au long de ce chapitre. Il s'agit d'exposer la conception des lois de la nature que nous pouvons tirer de l'ontologique DVQ présentée dans les chapitres précédents. En particulier, nous allons nous fonder sur les résultats du chapitre IV et l'ontologie structuraliste des quantités physiques, pour analyser les lois de la nature comme des rapports entre quantités. Nous situerons cette doctrine de la nature des lois par rapport aux deux positions examinées, le régularisme empiriste et la théorie DTA, et montrerons en quoi notre position peut être appelée un « régularisme quantitatif » ou « mathématique ». Ensuite, nous expliquerons en quoi elle offre un fondement satisfaisant pour l'induction scientifique.

3.1. Ontologie des lois équationnelles comme structures de variations concomitantes

Comment concevons-nous la nature des lois de la nature ? En nous fondant sur l'ontologie des quantités développées au chapitre IV, nous présentons la loi N(F,G) comme un rapport entre deux propriétés F et G, conçues comme des propriétés physiques quantitatives. Il faudra commencer par rappeler notre conception des quantités physiques, avant d'expliquer la nature du rapport « N » qui constitue la loi. A cette étape, nous présenterons cette doctrine de la loi comme un « régularisme mathématique », qui nous permettra de résoudre le problème de l'inférence. Dans un second temps, nous expliquerons comment concevoir ce que c'est qu'être instance d'une loi de la nature ainsi conçue, c'est-à-dire en quoi consiste le cours d'une loi (section 3.2.). Ceci nous permettra de résoudre les difficultés sémantiques soulevées dans la section 1.1., par les universalistes contre la position régulariste. Nous montrerons que notre régularisme surmonte ces difficultés parce qu'il permet, comme le font les universalistes, de concevoir la loi comme un rapport entre propriété et non comme une collection de faits particuliers ressemblants.

3.1.1. Rappel sur les quantités physiques.

Soit F une propriété quantitative. D'après nos conclusions du chapitre IV, « F » ne désigne pas une entité singulière comme un universel, mais une classe structurée de particuliers abstraits ou tropes quantitatifs. D'après la thèse DQ, chacun de ces particuliers f_i est distinct des autres parce qu'il est une détermination différente de F. De cette façon, la structure des f_i est une structure de déterminations, qui présente les relations de Johnson où F est la propriété déterminable, et les f_i ses diverses instanciations-déterminations. Selon la thèse VQ, les divers f_i ne se distinguent pas autrement qu'en tant qu'instances différentes de F, ce qui en fait des particuliers abstraits. Pour cette raison, F est un *type d'états de fait*, qui existe seulement en vertu de *ce que sont* ses tokens, à savoir des instances du même type.

Dans la critique de la catégorie de ressemblance, nous avons expliqué qu'il suffit que les divers f_i soient en variations quantitatives les uns par rapport aux autres pour être des instances de la même propriété, et cela sans qu'ils se ressemblent. En effet, ce qui fait que divers particuliers sont des instances de *cette* propriété, ou appartiennent à *cette* classe naturelle, n'a rien à voir avec un aspect par lequel ils se ressembleraient. Nous avons dit que les conditions d'identité ou de distinction des propriétés sont à trouver dans les lois de la nature ; nous y venons.

Ensuite, au chapitre IV, nous avons expliqué la nature des variations quantitatives en basculant dans une interprétation structuraliste de ces classes de tropes. Selon la théorie DVQ ainsi développée, les divers tropes quantitatifs qui sont des déterminations différentes de la même quantité sont conçus comme des places dans une structure relationnelle de déterminations. Soient la propriété (quantitative) F, et l'ensemble des f_1, f_2, f_n des cas particuliers distincts de cette propriété F. Soient aussi $R_F =< r_F^1, r_F^2, \dots r_F^n >$ les différentes relations déterminées en F comme « être 1 fois plus grand en F que », etc. Nous disons alors que toutes déterminations f_i et f_j de *F* sont en rapport de *variation quantitative* l'une avec l'autre lorsque :

(i) *Pour toute* $r_F^k \in R_F$ *de* f_i *et* f_j *appartiennent à l'extension de* r_F^k.

(ii) *Pour toute* $r_F^k \in R_F$, $r_F^k(f_i, f_k)$ *et* $r_F^k(f_j, f_{k'})$ *mais* $f_k \neq f_{k'}$.

En suivant cette analyse, chaque détermination f_i de la propriété F *est* un faisceau de relations déterminées en F avec toutes les autres déterminations f_j de F. D'après la théorie DVQ, l'ensemble de ces déterminations de F est exactement l'ensemble des cas particuliers de F, c'est-à-dire des particuliers qui existent et sont des instances (abstraites) de F. La propriété F est donc conçue comme une classe structurée de particuliers. Supposons maintenant qu'il existe deux propriétés quantitatives, F et G, et expliquons comment nous concevons leur rapport nomique au sein d'une loi de la nature.

3.1.2. La nature du rapport nomique entre propriétés quantitatives.

Comment, alors, concevoir le rapport qui existe entre ces deux propriétés, pour constituer une loi de la nature ? Nous partageons avec les positions universalistes la conviction qu'une loi de la nature est un trait contingent de la réalité, et admettons comme une possibilité métaphysique que deux propriétés F et G soient reliées autrement, ou pas reliées du tout. On admet par exemple un monde métaphysiquement possible où la force par laquelle deux masses s'attirent est proportionnelle au cube inverse de la distance, bien que ce n'est pas le cas dans le nôtre. D'après les discussions de la section 1.3.4.3., ce caractère contingent des lois est garanti si la relation N entre les propriétés F et G, ou bien entre les instances de ces propriétés, est externe, c'est-à-dire n'est pas le cas en vertu seulement de ce que sont ces propriétés ou ces instances. Nous devrons donc maintenir cette caractéristique ontologique. Mais faut-il concevoir ce rapport N comme le régulariste empiriste, c'est-à-dire comme une inclusion extensionnelle entre la classe des instances de F et celle des instances de G (« tout ce qui est F est G ») ? Ou bien faut-il préférer y voir un universel dyadique « N » reliant les deux propriétés ? Nous n'optons pour aucune de ces deux positions, bien que nous défendions une forme de régularisme.

Nous proposons de concevoir une loi de la nature comme un rapport de *variations concomitantes* entre deux propriétés F et G. Chaque propriété est une classe de déterminations en variations quantitatives les unes par rapport aux autres. Deux propriétés F et G sont alors en variations concomitantes si et seulement si les deux classes sont appariées, c'est-à-dire que tout élément de l'une est associé à un et un seul élément de l'autre. Les deux propriétés sont reliées en variant ensemble. Soit E_F l'ensemble des f_1, f_2, f_n qui sont des cas particuliers de F, et E_G l'ensemble des g_1, g_2, g_n, qui sont des cas particuliers de G. Soit I_i la relation par laquelle f_i et g_i sont appariés, pour tout *i*. Le rapport de variations concomitantes entre F et G se décrit donc comme un ensemble de faits relationnels :

F et G sont en variations concomitantes si et seulement si pour tout i, $I_i(f_i, g_i)$.

Dès lors, si l'on considère aussi f_j qui est en variation quantitative par rapport à f_i, et g_j qui l'est par rapport à g_i, les deux faits relationnels $I_i(f_i, g_i)$ et $I_j(f_j, g_j)$ décrivent bien comment les deux propriétés covarient. Prenons l'exemple de la loi de dilatation thermique (linéaire) de l'acier : $L = L_0(1 + \alpha T)$, qui énoncé un rapport entre deux propriétés quantitatives, la longueur L et la température T. Pour l'acier, le coefficient a est arrondi à $\alpha = 11 \times 10^{-6}$ °C^{-1}. On obtient alors les variations concomitantes suivantes entre les différentes déterminations l_i et t_i des deux grandeurs :

l_i (en m)	0,5	0,500055	0,500495	0,50165	0,50605	0,555
t_i (en °C)	0	10	90	300	1100	10 000

Mais il reste à expliquer comment nous concevons la relation I_i entre f_i et g_i, car c'est l'ensemble de ces relations I_i qui compose l'appariement des deux classes des instances de F et G. C'est en ce point que l'interprétation structurale de la théorie DVQ entre en jeu. On se souvient que toute détermination f_i de F est, et ne consiste qu'en, un faisceau de relations R_F avec toutes les autres déterminations f_j de F. Ces relations sont internes à f_i et tout autre f_j, en un sens trivial, puisque f_i *est* ces relations aux autres f_j. Il *est* une place dans la structure F. Il en va de même pour g_i de son côté. Maintenant, que signifie le fait relationnel $I_i(f_i, g_i)$? Dire que f_i et g_i sont appariés signifie que g_i occupe *dans* la structure F la place *qu'est* f_i, et qu'inversement, f_i occupe *dans* la structure G la place *qu'est* g_i. Autrement dit :

> *$I_i(f_i, g_i)$ si et seulement si pour toute $r_F^k \in R_F$, il y a un f_k tel que $r_F^k(g_i, f_k)$ et pour toute $r_G^k \in R_G$, il y a un g_k tel que $r_G^k(f_i, g_k)$.*

Cet énoncé dit que f_i et g_i sont appariés si g_i instancie toutes les relations r_F^k qui déterminent l'être de f_i dans la structure de F, et si f_i instancie toutes les relations r_G^k qui déterminent l'être de g_i dans la structure des G. Le plus important est de noter que le fait $I_i(f_i, g_i)$ est donc une relation qui n'implique pas que les particuliers f_i et g_i, qu'on pourrait considérer isolément de toutes les autres déterminations de F et G. Pour f_i, au contraire, être apparié à g_i, c'est être en relations avec toutes les autres déterminations g_k de G, et inversement, pour g_i, être apparié à f_i, c'est être en relations avec toutes les autres déterminations f_k de F.

Enfin, il faut noter que si les relations structurelles R_F sont internes à tout f_i, et que les relations R_G sont internes à tout g_i, il n'en va pas de même des relations d'appariement. f_i instancie toutes les relations R_G mais ces relations sont externes, c'est-à-dire ne sont pas du tout le cas en vertu seulement de ce qu'est f_i (et tous les autres g_k). En effet, on conçoit très bien que f_i aurait pu très bien être apparié non pas à g_i mais à une autre détermination de G, instanciant alors chacune des relations R_G avec d'autres g_k.

3.1.3. La loi comme régularité mathématique.

La loi, comme fait général de variations concomitantes, peut tout à fait être présentée comme une régularité. Revenons à la racine du régularisme. Il s'agit de croire que l'énoncé nomologique NU :

« C'est une loi que tous les *x* qui sont F sont G » est rendu vrai par l'existence, dans le monde, d'une conjonction de faits particuliers : F(a)^G(a), F(b)^G(b), F(c)^G(c), etc. c'est-à-dire de toutes les paires composées par un particulier étant F et G. De la même façon, l'énoncé nomologique qui prend la forme de l'équation L : F = αG est rendu vrai par un certain appariement des propriétés quantitatives F et G, c'est-à-dire par une série de faits relationnels particuliers : *pour tout i,* $I_i(f_i, g_i)$. L'énoncé nomologique L : F = αG devrait donc pouvoir être reformulé sous forme de régularité :

(1) L : F = αG $\Leftrightarrow \forall x, F(x) \leftrightarrow G(x)$

Dans le terme de droite, la variable *x* varie sur les particuliers abstraits qui existent dans le monde, et qui d'après DVQ, sont des cas particuliers de propriétés quantitatives. Le prédicat *F(x)* signifie que *x* est un cas particulier de la propriété F, c'est-à-dire une détermination quantitative qui appartient à la structure relationnelle F. Le prédicat *G(x)* signifie la même chose, pour la propriété G. Le terme de droite signifie donc que tout particulier qui est une place déterminée de la structure F (ou G) occupe une place déterminée de la structure G (ou F). Cette régularité signifie donc un appariement des deux structures, mais ne spécifie pas quel appariement. Or il y a une quantité innombrable de façons contingentes d'apparier deux quantités physiques, et la loi qui vaut dans notre monde n'est qu'une façon bien déterminée. Nous allons donc proposer une autre façon de formuler la régularité, qui nous semble mieux satisfaire à cette exigence. Soit (x, y) une paire de particuliers abstraits (tropes quantitatifs). L'énoncé L : F = αG peut alors être reformulé comme une régularité de cette manière :

(2) L : F = αG $\Leftrightarrow \forall x, y, F(x) \wedge G(y) \rightarrow I(x, y)$

Dans le terme de droite, on retrouve bien une implication matérielle quantifiée universellement, ce qui est la forme de régularité traditionnellement choisie pour formuler les énoncés nomologiques. Elle est quantifiée sur toute paire de particuliers (x, y), et affirme que si *x* est une place déterminée de la structure F et que *y* est une place de G, alors le prédicat dyadique *I* est vrai d'eux. Il reste donc à donner la définition précise de *I* :

(3) $\forall x, y, I(x, y)$ *si et seulement si* $\cup^i\ (x = f_i, y = g_i, I_i(f_i, g_i))$

Pour le formuler plus intuitivement, *I* signifie que pour toute paire de particuliers *x* et *y*, on a $I(x, y)$ si et seulement si *x* et *y* sont une des déterminations appariées de F et G, c'est-à-dire sont f_1 et g_1 avec $I_1(f_1, g_1)$, ou bien f_2 et g_2 avec $I_2(f_2, g_2)$, ou f_3 et g_3 avec $I_3(f_3, g_3)$, etc. *I* est donc un prédicat disjonctif très vaste, qui contient autant de termes qu'il y a de paires de f_i et g_i appariées. Ainsi formulée,

la loi L énonce sous forme de régularité que si deux particuliers sont des cas particuliers de F et G, alors ils appartiennent à l'extension du prédicat *I* qui décrit l'appariement précis de l'équation L.

On retrouve alors parfaitement l'idée qu'une loi de la nature consiste en une contrainte sur un ensemble de cas métaphysiquement possibles. De la même façon que si tous les F sont G, par exemple toutes les émeraudes sont vertes, les cas métaphysiquement possibles d'émeraudes qui ne sont pas vertes sont exclus par la loi, c'est-à-dire sont déclarés *physiquement* impossibles, cette régularité dit que si deux particuliers sont des cas particuliers de F et G, alors ils appartiennent à l'extension du prédicat *I*, et les paires de f_i et g_i hors de cette extension sont déclarées *physiquement* impossibles. Nous reviendrons dans la section 3.3. sur l'usage de ces modalités physiques en application des lois de la nature.

Il faut faire ici deux remarques utiles pour la suite. Premièrement, le prédicat *I* est ce qu'on peut appeler un « prédicat goodmanien », c'est-à-dire un prédicat qu'il est vrai d'attribuer à tous les particuliers d'une classe (ici, toutes les paires de *x* et *y* concernés) bien qu'il ne caractérise aucune ressemblance objective entre eux. On pourrait faire à ce prédicat le reproche de ne pas pouvoir entrer légitimement dans la formulation d'un énoncé nomologique, parce qu'il n'est pas qualitatif et simple, mais contient des « clauses positionnelles », c'est-à-dire des mentions de circonstances particulières. C'est vrai, puisqu'*I* est une vaste disjonction d'autant de circonstances particulières qu'il y a de paires de particuliers f_i et g_i appariés.

Mais il est possible de forger un prédicat goodmanien similaire pour toute régularité universelle. Par exemple, pour la régularité « Tous les F sont G », on peut définir le prédicat « FG » comme signifiant : « FG(*x*) si et seulement si *x* est a et F(a)^G(a), ou *x* est b et F(b)^G(b), ou *x* est c et F(c)^G(c), etc. », en incluant dans cette définition tous les particuliers qui sont compris dans la régularité (c'est-à-dire tous les particuliers qui sont F). C'est même *parce qu'une* loi n'est qu'une régularité, que l'énoncé de la loi peut être reformulé comme l'attribution de ce prédicat goodmanien FG à tous les particuliers entrant dans le périmètre de cette régularité. A ce point, un régulariste classique nous répondra que le prédicat FG est *inutilement* complexe, puisqu'il contient toutes ces clauses particulières (« *x* est a » ou « *x* est b » ou « *x* est c » etc.) pour finalement leur associer à chaque fois *la même* conjonction « est F et est G ». En un mot, a, b, c, etc. se ressemblent puisqu'ils sont tous F et G. Il semble donc possible de factoriser ce double aspect pour simplifier l'énoncé de la loi : « Tous les *x* qui sont F sont G ». Or cette simplification de la loi n'est possible que dans la situation d'une régularité *universelle*. Nous raisonnons dans ce chapitre en prenant *tous* les particuliers concernés – c'est-à-dire qui sont F, qu'ils soient observés ou non. Dans cette situation, il est bien vrai que le prédicat « FG » est inutilement complexe, et qu'une simplification de l'énoncé nomologique est possible. Mais notre remarque prendra son importance dans une situation épistémologiquement plus pertinente, où tous les particuliers censés entrer dans le périmètre de la loi ne sont pas observés, c'est-à-dire dans une situation d'induction ; nous verrons dans le chapitre IX comment ce type de prédicat permet d'engendrer l'énigme de Goodman.

Deuxièmement, on reconnaît généralement que si la loi ne consiste qu'en une régularité phénoménale, alors elle peut être identifiée à une conjonction de faits particuliers. Par conséquent, nous pouvons substituer à l'énoncé universel conditionnel (2) un énoncé existentiel absolu (4), qui est rendu vrai par exactement les mêmes vérifacteurs :

(4) $\cap^i \{\exists x, y / F(x) \wedge G(y) \wedge (x = f_i, y = g_i, I_i(f_i, g_i)\}$

Sous cette forme, l'énoncé de la loi affirme l'existence d'une conjonction de faits particuliers d'appariement entre les déterminations de F et G. Même si l'énoncé n'est pas quantifié universellement, il faut bien voir qu'il conserve une forme d'universalité, dans la mesure où il affirme l'existence du fait particulier d'appariement $I_i(f_i, g_i)$ pour tout i, c'est-à-dire pour toutes les déterminations f_i et g_i de F et G. On comprendra au chapitre VIII l'importance de cette reformulation existentielle absolue.

La loi ainsi formulée comme une régularité mathématique nous semble avoir deux avantages très conséquents. Elle fournit une analyse satisfaisante, et en tout cas plus satisfaisante que celle d'Armstrong, des lois équationnelles. Mais surtout, elle offre une solution parfaitement adéquate, bien que surprenante, au problème de l'inférence soulevé par Bas van Fraassen.

3.1.4. Une analyse satisfaisante des lois équationnelles.

Le premier avantage de cette théorie des lois est de satisfaire le réquisit (R5) en permettant une analyse satisfaisante des lois équationnelles. C'est même avec cet objectif en tête que nous l'avons élaborée. Elle peut donc être appelée un « régularisme mathématique » dans la mesure où elle est toute entière taillée pour proposer une ontologie des lois qui rendent vrais les équations nomologiques, et non pas des lois qualitatives comme « C'est une loi que tous les F sont G ». Une objection évidente à notre démarche, qui consiste à ne pas partir d'une analyse des lois qualitatives, et la sophistiquer ensuite pour arriver aux lois quantitatives, serait de nous demander comment, à partir de cette théorie, nous rendons compte des lois qualitatives. Or d'après le cadre cartésien posé par l'ontologie DVQ, nous n'admettons de toute façon plus de propriété qualitative. Un problème peut néanmoins être posé par ces énoncés qui dans les théories physiques attribuent des propriétés (quantitatives) essentielles à certaines sortes ou espèces de particuliers, comme des électrons, des protons, etc., et il est alors difficile de se passer de propriétés comme « être un électron » qui semblent qualitatives. Mais nous avons essayé de montrer, dans le chapitre III à la section 4.3.4., comment l'on pouvait rendre compte de ces propriétés comme des types sortaux *quantitatifs* et non *qualitatifs*, parfaitement compris dans la théorie DVQ.

Admettons donc qu'il n'existe dans la nature que des lois équationnelles. En quoi l'analyse proposée est-elle satisfaisante ? Premièrement, elle satisfait un certain nombre d'intuitions que l'on a couramment à l'égard de ce que peuvent signifier les équations de nos théories physiques. Le premier

avantage à ce titre est qu'identifiée à une régularité de faits particuliers (et à une classe de lois comme chez Armstrong), la loi équationnelle est *une seule* loi (et non une infinité comme chez lui). Ensuite, second avantage intuitif, nous offrons de ce qu'on appelle dans la langue scientifique des « variations concomitantes » une analyse ontologique et prenons au sérieux le fait que plusieurs grandeurs varient ensemble au sein d'une loi. Nous verrons aux chapitres VIII et IX les bénéfices épistémologiques que nous pourrons tirer de cette analyse ontologique.

Deuxièmement, notre analyse présente des avantages ontologiques par rapport aux analyses concurrentes étudiées au-dessus, au premier rang desquelles son économie. En tout et pour tout, pour analyser le vérifacteur d'une loi physique, nous ne postulons qu'une seule loi de la nature, et non une infinité comme Armstrong. Le seul emprunt ontologique que l'on doit avouer correspond à celui de la relation *I* par laquelle une détermination f_i est associée à une détermination g_i. Nous la concevons d'une manière très proche de la relation de compresence admise en général parmi les théoriciens des tropes, en lui retirant néanmoins sa connotation spatio-temporelle. Deux déterminations associées par *I* ne sont « présentes » nulle part dans l'espace-temps, sauf si elles sont par ailleurs associées par *I* ou par accident (*cf* plus bas section 3.3.2.2.) à une ou plusieurs déterminations d'espace-temps. Il serait évidemment fâcheux de devoir avouer que *I* est un universel, au sein d'une théorie DVQ qui prétend pourtant n'en postuler aucun, mais analyser les propriétés comme des classes de tropes structurées par des variations quantitatives. Or ce n'est pas le cas, puisque *I* ne représente pas du tout une entité unique, entièrement présente dans chacune de ses instances $I_i(f_i, g_i)$. *I* n'est rien de plus que la classe des faits particuliers $I_i(f_i, g_i)$, et nous pouvons reconduire pour cette classe exactement la même analyse que pour toute propriété. La classe des $I_i(f_i, g_i)$, en quoi consiste une loi reliant les grandeurs F et G, est une classe de faits particuliers en variations quantitatives les uns par rapport aux autres. Ce sont précisément ces variations quantitatives qui sont les « variations concomitantes » décrites par l'équation.

Ensuite, en tant que régularisme, cette théorie des lois ne rencontre pas les difficultés sémantiques rencontrées par la position régulariste. Nous le montrons plus longuement dans la section 3.2., mais il faut ici dire un mot du problème des possibilités non-réalisées qui pouvait concerner en particulier les lois équationnelles. Selon Armstrong, une telle loi contient beaucoup de cas physiquement possibles mais non-réalisés, et par conséquent une analyse régulariste de cette loi ne convient pas, car elle réduirait la loi aux seuls cas réalisés. Notre régularisme ne souffre pas de ce défaut, tout simplement parce que nous repoussons la prémisse d'Armstrong et affirmons que *tous* les cas particuliers contenus dans la loi sont réalisés. Nous expliquons à la section 3.3. en quel sens nous l'entendons.

Enfin, comme Tooley et en s'inspirant de sa théorie, nous fondons dans la nature ontologique d'une loi le fait qu'il n'y ait pas d'inconsistance entre l'ordre et les relations des déterminations d'une même propriété. En effet, la loi est un appariement global entre deux structures de déterminations des grandeurs, par conséquent il ne peut pas y avoir d'incohérence entre les diverses associations particulières $I_i(f_i, g_i)$ et les relations que présentent entre elles les diverses déterminations f_i (ou g_i).

Qui plus est, nous garantissons cette cohérence sans tomber dans le travers de la théorie de Tooley, qui prête aux lois elles-mêmes le rôle d'ordonner et de structurer les ensembles de déterminations f_i et g_i. En effet, comme expliqué à la fin de la section 3.1.2., les relations structurelles entre f_i sont internes à tous ces particuliers, puisque chacun d'eux ne consiste qu'en un faisceau de ces relations. Il en va de même pour les g_i, alors que les faits particuliers d'appariement $I_i(f_i, g_i)$ sont externes à ces déterminations. Par conséquent, les classes de déterminations f_i et g_i sont structurées préalablement à leur appariement dans une loi de la nature.

3.1.5. Une solution au problème de l'inférence.

Dans la section 1.3. consacrée au problème de l'inférence que Bas van Fraassen posait à la théorie DTA des lois de la nature, nous avons vu la position régulariste n'est pas victime de ce problème. En effet, si l'énoncé NU « C'est une loi que tout ce qui est F est G » signifie une régularité du type : « $\forall x, F(x) \rightarrow G(x)$ », alors si a est F, alors a est G. On peut sans problème inférer de la loi et du fait particulier initial F(a), la conséquence G(a). Mais on se rappelle aussi les grandes insatisfactions soulevée par ce régularisme sommaire, dans la mesure où la loi, ainsi conçue, ne fait qu'énoncer un rapport d'inclusion extensionnelle entre F G. C'est la même insatisfaction que nous exprimons au-dessus à l'égard de (1) : dire seulement que x est un cas de F si et seulement si x est un cas de G n'est pas suffisant pour analyser la loi L, qui énonce plus qu'une simple coextensivité de F et G.

Mais le problème de l'inférence se pose alors à toute tentative d'identifier la loi concernant F et G à un fait d'un ordre supérieur, impliquant non pas les instances de F et G mais les propriétés F et G conçues comme des universaux. Souvenons-nous de ce qui arrive à Armstrong, qui identifie la loi à l'état de choses de deuxième ordre N(F,G), qui est un universel de premier ordre. Il doit postuler que cet universel (supposé dyadique) est instancié par exactement les paires d'instances de F et G :

(A'') pour tout x, F(x) ^ G(x) → [N(F,G)](F(x),G(x))

Tout le problème, pour l'universaliste, est de fonder cette nouvelle régularité (A'')[94]. S'il la tient pour primitive, il rend les armes au régulariste. S'il maintient sa position universaliste, il lui faut postuler une nouvelle loi et un nouvel universel, et entrer ainsi dans la régression vicieuse du législateur. C'est en ce sens très précis que notre position est régulariste, puisque d'après sa formulation donnée en (2), la loi a exactement cette forme. Elle énonce que pour toutes les paires de particuliers concernées, c'est-à-dire les paires de déterminations de F et G, ces paires satisfont la loi en entrant dans l'extension du

[94] Qu'on s'est amusé à appeler « décret d'application de la loi N(F,G) » ; nous verrons bientôt pourquoi ce nom est pertinent, pour résoudre le problème de fondation.

prédicat *I*. Nous résolvons donc le problème de l'inférence dans la version, dans la mesure où d'après la loi, si x et y sont une paire concernée par la loi, alors on peut inférer de la loi que cette paire est l'une des paires (f_i, g_i), et donc satisfait l'appariement en quoi consiste la loi.

Comme la doctrine des lois que nous proposons est une forme de régularisme, il n'est pas étonnant que la résolution du problème de l'inférence soit évidente, car il a été conçu pour attaquer les opposants au régularisme[95]. Toutefois, après avoir satisfait (R4), nous devons maintenant répondre aux réquisits formulés par ces opposants au régularisme, et la tâche s'annonce plus difficile.

3.2.Le cours nomique de la loi.

Il s'agit de comprendre comment, malgré sa forme de régularité, une loi de la nature est telle que (R1) son énoncé nomologique présente une opacité sémantique caractéristique, et que (R2) il est possible de fournir un critère ontologique pour distinguer les régularités empiriques qui sont accidentelles, et ne correspondent à aucune loi, des régularités qui correspondent à des lois. Ce même critère devrait pouvoir nous permettre de (R2') rendre compte des possibilités physiques non-réalisées et de (R2'') fonder la vérité des énoncés contrefactuels supportés par des lois. L'enjeu est de parvenir à résoudre ces divers problèmes sans identifier la loi à une relation entre propriétés plutôt qu'entre instances de ces propriétés. Montrons comment notre ontologie régulariste, qui identifie une loi à un fait général de variations concomitantes entre deux propriétés quantitatives, parvient néanmoins à rendre compte de l'opacité sémantique d'un énoncé nomologique ou résoudre le problème des généralisations accidentelles.

3.2.1. La loi comme contrainte globale.

La loi L peut être présentée comme une somme de faits (relationnels) particuliers, puisqu'elle est l'appariement de deux classes structurées de particuliers. Néanmoins, nous allons voir en quoi il faut aussi la concevoir comme une « contrainte globale » pesant sur chacun de ces faits (relationnels) particuliers. « Contrainte globale » est une expression forgée par Bas van Fraassen dans *Lois et symétrie*, pour rendre compte du besoin épistémologique et ontologique qu'historiquement le concept de « lois de la nature » est venu satisfaire. Il la définit ainsi :

> Par une contrainte globale, je veux dire un principe qui s'applique au système en totalité, et qui n'est équivalent à aucun principe qui s'appliquerait distributivement au particuliers localisés ou localisations

[95] Pour une solution régulariste au problème de l'inférence, qui fait également usage des tropes ou « propriétés instanciées », voir (Kistler, 1999).

> ponctuelles de ce système. Comme exemple extrême, imaginez un monde où la masse totale est conservée, mais où selon un processus hasardeux, un peu de matière apparaît spontanément en des lieux aléatoires, pour compenser la masse qui disparaît ailleurs. Ici, le principe global de conservation de la masse totale n'est pas dérivable de principes gouvernant les parties propres du système. (Van Fraassen, 1989, p. 3)

Bas van Fraassen ne rejette pas ce besoin de contraintes globales, mais critique les différentes ontologies des lois de la nature qui ont tenté de le satisfaire. Il nous semble que si notre analyse des lois de la nature parvenait à le satisfaire, alors nous aurions un bon moyen de répondre à la difficulté de l'opacité sémantique des énoncés nomologiques. En effet, comme expliqué à la section 1.1.2.1., la valeur de vérité de l'énoncé d'une régularité est sauvegardée si l'on substitue un prédicat (par exemple « F ») par un prédicat coextensif H. Or l'énoncé nomologique « C'est une loi que tous les F sont G » n'a pas les mêmes conditions de vérité que « C'est une loi que tous les H sont G », même si, *de fait* « tous les F sont H et tous les H sont F » (à moins que cette équivalence soit elle-même une loi). C'est l'opacité sémantique : la vérité de l'énoncé nomologique à propos des F et des G ne tient pas à l'existence des particuliers qui sont F (et G), mais au fait qu'ils soient F. Il se peut très bien qu'exactement les mêmes particuliers qui sont F soient aussi H, mais la loi ne concerne pas *le fait* qu'ils soient H.

Dans les deux phrases précédentes, nous parlons *du fait* d'être F ou H, pour divers particuliers, comme d'un fait *singulier*. C'est ici que s'introduit la thèse fondamentale de la position universaliste : c'est en tant qu'instances *d'un unique universel F* que divers particuliers sont soumis à la loi que tous les *x* qui sont F sont G. C'est de cette façon que l'universaliste conçoit que la loi exerce une contrainte globale : si c'est le fait d'être F qui entraîne le fait d'être G, alors la loi est bien une contrainte globale qui vaut pour tout particulier qui instancie (ou pourrait instancier) ces universaux. Mais le régulariste résiste à cette « montée ontologique » (Dretske) de l'ordre des particuliers vers les universaux. Comment peut-il alors rendre compte de l'opacité sémantique de l'énoncé de la loi ?

C'est l'analyse structurale des propriétés qui permet à notre ontologie régulariste des lois de résoudre ce problème. En effet, la loi est bien une série de faits particuliers de concomitance (les relations I_i d'appariement entre les f_i et g_i), mais chacun de ces faits particuliers est *déterminé* par l'ensemble de *tous les autres* faits de concomitance au sein de la même loi, parce que les propriétés F et G sont des structures. Le fait particulier $I_i(f_i, g_i)$ consiste ontologiquement dans le fait que f_i occupe la place de g_i dans la structure G, c'est-à-dire instancie toutes les relations aux autres g_k du faisceau de relations qu'est g_i. Similairement, g_i occupe la place de f_i dans la structure F, c'est-à-dire instancie le faisceau de relations qu'est f_i. Or, d'après cette définition, le fait particulier $I_i(f_i, g_i)$ est déterminé exactement par l'identité de tous les particuliers g_k et f_k avec lesquels respectivement f_i et g_i sont dans toutes les relations R_G et R_F. Demander pourquoi les particuliers f_i et g_i sont appariés par la relation I_i, c'est donc demander pourquoi ils sont (respectivement) dans les relations R_G et R_F avec tous ces autres

g_k et f_k plutôt qu'avec d'autres. Or ceci ne peut être qu'un fait *globalement* déterminé, parce qu'au sein de leurs structures respectives, f_i et g_i sont déjà en relations de variations quantitatives déterminées avec tous les autres f_j et g_j. Donc nécessairement les faits d'appariements particuliers $I_i(f_i, g_i)$ et $I_j(f_j, g_j)$ sont co-déterminés, et cela pour tout *i* et *j*.

Pour formuler plus simplement l'argument, l'ensemble des faits particuliers d'appariement $I_i(f_i, g_i)$ sont globalement déterminés, et non pas particulièrement et séparément, parce chacun met en relations les particuliers f_i et g_i avec l'ensemble des g_k et f_k. Et ceci vient du fait que pour f_i, occuper la place de g_i dans la structure de G c'est instancier *tout* le faisceau de relations qu'est g_i. C'est donc l'analyse des propriétés comme structures de déterminations relationnelles, et donc de chaque détermination comme faisceau de relations à toutes les autres déterminations de la même propriété, qui implique le fait qu'une loi, bien qu'elle soit une régularité, vaille néanmoins comme une contrainte globale par rapport à chacun de ses appariements particuliers.

Ce résultat offre une solution au problème de l'opacité sémantique. En effet, c'est bien en tant qu'instance de F, c'est-à-dire en tant que place dans la structure F en relations de variations quantitatives avec *toutes les autres* déterminations de F, que f_i est appariée à g_i. Alors formuler la loi $\forall x, y, F(x) \wedge G(y) \rightarrow I(x, y)$, c'est formuler une série de faits particuliers d'appariement $I_i(f_i, g_i)$ qui sont soumis à une unique contrainte *globale* en vertu du fait que *x* : f_i est une instance de F et *y* : g_i est une instance de G. Le fait que tout f_i et tout g_i soient, en tant qu'instances de F et G, des places dans une structure relationnelle implique que la série de leurs appariements $I_i(f_i, g_i)$ est soumise à une contrainte globale. Cela rend suffisamment compte du fait que l'énoncé nomologique ci-dessus n'a pas pour condition de vérité une extension de faits d'appariement particuliers, mais un appariement *global* de tous les f_i et g_i en vertu de ce qu'ils sont, des instances de F et G. C'est parce que l'appariement est global que, malgré l'analyse régulariste de la loi, l'énoncé nomologique présente cet effet d'opacité sémantique.

Il faut maintenant expliquer en quoi consiste le fait d'être une instance de loi de la nature, pour mieux comprendre comment la loi a cours parmi les particuliers, et résoudre les problèmes (R2) à (R2'').

3.2.2. Être une instance nomique : un régularisme non-humien.

Pour expliquer le fait d'être une instance particulière d'une loi de la nature, il faut commencer par définir ce qu'est le régularisme « humien ». Nous allons le caractériser par deux thèses (la survenance humienne et l'indifférence humienne), avant d'expliquer la position du régularisme non-humien que nous défendons, qui nous permettra enfin de répondre aux réquisits (R2) à (R2'').

3.2.2.1.Le régularisme humien et la thèse de la survenance humienne.

Nous proposons d'utiliser le terme « humien » pour caractériser non seulement une conception de la nature des particuliers, mais plus spécifiquement une position sur le rapport entre une loi de la nature et les phénomènes particuliers qu'elle gouverne. Dans le premier sens, très large, un humien considère que le monde est composé de faits particuliers spatio-temporels séparés, et que tout autre fait non-humiens (faits relationnels, régularités) survient sur cette mosaïque de particuliers humiens. Nous suivons ici la caractérisation bien connue qu'en a donnée Lewis[96] :

> Le nom de « survenance humienne » est un hommage au grand négateur des connexions nécessaires. D'après cette doctrine, tout ce qu'il y a dans le monde est une vaste mosaïque de faits particuliers locaux : juste une petite chose à côté d'une autre. Prenez la géométrie : un système de relations externes de distance spatio-temporelle entre points. Peut-être les points de l'espace-temps lui-même, peut-être des masses ponctuelles, des points d'un éther ou de champs. Et en ces points, nous avons des qualités locales : des propriétés parfaitement naturelles et intrinsèques, qu'un point suffit à instancier. En bref : nous avons un arrangement de qualités, et c'est tout. Il n'y a pas de différence sans différence dans cet arrangement de qualités. Tout le reste survient sur lui. (Lewis, 1986c, pp. ix-x)

Cette conception humienne de la particularité affirme donc principalement que les faits particuliers ne sont constitués que de leur caractéristiques intrinsèques et particulières. Autrement dit, ce que nie un humien, c'est qu'un fait particulier puisse être constitutivement déterminé par quelque chose d'extrinsèque, comme une relation ou un fait général ou une loi. Certes Lewis prend l'exemple des relations géométriques, en expliquant qu'elles sont des relations externes, qui ne surviennent donc pas sur les qualités intrinsèques de leurs *relata*. Mais ces relations géométriques ne constituent pas *ce que sont* ces *relata* particuliers, puisqu'elles sont contingentes et accidentelles (deux particuliers peuvent s'éloigner ou changer de situation relative sans modification dans leurs natures particulières). Vis-à-vis des faits relationnels contingents, la théorie humienne de Lewis demande d'admettre qu'ils sont à leur tour des faits particuliers humiens (relationnels). Une fois cela admis, la thèse générale humienne selon laquelle un fait particulier n'est constitué que par ses caractéristiques internes est restaurée, puis que la relation géométrique devient *interne* au fait relationnel particulier maintenant admis (Lewis, 1983, p. 365).

La conception humienne des particuliers affirme donc que les faits particuliers sont constitués intrinsèquement. Dans notre chapitre III, nous contrevenons déjà frontalement à la thèse humienne,

---

[96] Cette position humienne n'est pas, en tant que telle, un nominalisme – Lewis, qui la défend, repousse pourtant la position nominaliste et affirme l'existence de classes naturelles. Toutefois, la position humienne rend incroyablement difficile la tâche de trouver un critère ontologique pour distinguer les classes artificielles des classes naturelles (propriétés abondantes et propriétés rares), et Lewis est tenté d'admettre cette distinction comme primitive (Lewis, 1983).

puisque nous définissons l'être du particulier comme le fait *d'être instance d'une même propriété* que d'autres particuliers, par des relations de variation quantitative avec eux. C'est une théorie relationnelle de la détermination et de la particularité. Notre conception de ce qu'est une instance d'une loi, et donc de la régularité qui correspond à une loi, doit aussi maintenant s'y opposer.

Concernant donc le rapport entre une loi de la nature et les phénomènes particuliers qu'elle gouverne, un humien soutient une forme particulière de régularisme. Il défend premièrement la thèse que la loi est une régularité qui survient sur les faits particuliers – c'est la thèse connue sous le nom de « survenance humienne ». Mais il défend aussi une thèse humienne sur le rapport entre les particuliers et la loi, qui nous semble plus fondamentale encore. Elle affirme que les faits particuliers qui, si une loi existe, en sont les cas particuliers, sont qualitativement identiques avec des faits particuliers qui existeraient dans un monde où il n'y aurait pas de loi. Pour la distinguer de la survenance humienne, nous l'appellerons la thèse de « l'indifférence humienne » des particuliers à l'égard de la loi.

Selon la thèse de la survenance humienne, les faits nomologiques comme l'existence d'une loi surviennent entièrement sur les faits particuliers humiens. Par conséquent, deux mondes distincts ne peuvent pas différer du point de vue des faits nomologiques (par exemple, une loi étant dans l'un mais pas dans l'autre) sans différer aussi du point de vue des faits particuliers humiens[97]. Cette thèse est en générale associée avec la position régulariste, et les arguments développés par les universalistes sont souvent conçus pour la démettre. C'est en particuliers le cas des arguments sémantiques vus en 1.1.2.2., fondés sur la distinction entre généralisation accidentelle et régularité nomique, l'existence de lois sans instances et de possibilités physiques non-réalisées, et le fondement des énoncés contrefactuels.

D'une façon intuitive, le problème posé par la thèse humienne vient de ce qu'elle interdit qu'une loi puisse exister et valoir dans notre monde tout en étant dépourvue d'instances particulières. Toutefois, partir du point de vue contraire, et admettre la possibilité de lois actuelles sans instances particulières, c'est peut-être présupposer la validité du point de vue anti-humien (universaliste, ou plus largement le point de vue des lois comme gouvernant les particuliers – (Beebee, 2000)). Nous allons expliquer en quoi notre régularisme non-humien permet de satisfaire les réquisits (R2) à (R2'') sans accepter la survenance humienne.

3.2.2.2.La thèse de l'indifférence humienne.

Mais inversement, on peut paradoxalement accepter une thèse humienne sans être régulariste – il s'agit de la seconde thèse humienne, moins bien mise en lumière. Cette thèse affirme que les faits particuliers qui, si une loi existe, sont les cas particuliers de cette loi, sont qualitativement identiques

[97] Pour un aperçu utile de la littérature sur la thèse de la survenance humienne, et une discussion précise des critères pour distinguer un fait particulier humien d'un fait non-humien, voir (Earman & Roberts, 2005).

avec les faits particuliers qui existeraient dans un monde où il n'y aurait pas cette loi. Nous parlons alors d'« indifférence humienne » au sens où les faits particuliers seraient ce qu'ils sont qu'il existe ou non une loi correspondante. On pourrait en effet se demander si, étant donné une régularité phénoménale universelle, une loi doit forcément exister qui lui corresponde ; autrement dit si, d'une régularité universelle on peut inférer l'existence d'une loi. La plus grande victoire des humiens vient de nous faire admettre qu'évidemment non, il peut y avoir dans notre monde une régularité sans loi. De la même façon que dans la théorie des propriétés, les nominalistes avaient déjà gagné le match contre les réalistes, quand ils leur ont fait admettre que les particuliers pouvaient exister sans être instances d'une même propriété (parce qu'ils étaient conçus comme des individus), maintenant ils nous font croire que des faits particuliers peuvent former une régularité phénoménale, sans qu'existe une loi qui lui corresponde. Les particuliers humiens existent, indifférents à l'existence ou non des lois. On peut formuler ainsi la thèse : pour tout monde doté de lois, il existe un monde humien qui lui est parfaitement ressemblant au plan des particuliers. La seule différence serait que, pour des régularités phénoménales homologues, l'une correspond à une loi dans un monde mais pas dans l'autre.

Pour parler du rapport entre une régularité et une loi, nous utilisons le verbe plutôt vague de « correspondre », simplement pour maintenir ouverte la possibilité de choisir entre la position régulariste et la théorie DTA. En effet, on s'aperçoit que la thèse de l'indifférence humienne, évidemment compatible avec le régularisme humien, l'est aussi avec certaines formulations de DTA. Premièrement, si l'on identifie les lois à des régularités phénoménales, la thèse de l'indifférence s'impose. En effet, un régulariste qui nierait cette thèse devrait soutenir que toute régularité phénoménale (universelle) est une loi de la nature, et donc exclure que certaines régularités soient accidentelles. Or il est si facile de forger des cas d'énoncés universels et vrais qui ne sont vraisemblablement pas des lois, comme vu à la section 1.1.2.2., que la position serait intenable. Mais de façon plus étonnante, on trouve chez les universalistes des apparitions de la thèse humienne de l'indifférence, et il n'y a donc pas besoin d'être régulariste pour y souscrire.

On peut en effet penser qu'une loi de la nature est une relation entre universaux, tout en concevant d'une façon humienne les particuliers qui sont les cas de cette loi. De façon très générale, tout universaliste qui défend sa position en arguant de sa capacité à rendre compte de la distinction entre les régularités accidentelles et les régularités fondées sur des lois de la nature, souscrit implicitement à la thèse de l'indifférence, puisqu'il admet que les régularités fondées dans notre monde sur des lois seraient accidentelles si ces lois n'existaient pas. Mais beaucoup plus précisément, c'est la conception de l'instance de la loi qui est en jeu. On peut distinguer, au sein de la théorie DTA, deux tendances différentes pour concevoir la nature de la nécessitation nomique, c'est-à-dire de la façon dont la loi s'impose à ses cas particuliers – déjà abordée à la section 1.3. Pour le comprendre, il est utile de reprendre la parabole du démiurge, qui peut écrire des lois de la nature sur un tableau de commande céleste, dont les formules s'imposent ensuite aux particuliers qui existent.

Partons d'une situation initiale où les universaux F et G ne sont pas reliés. Dans le monde, tout ce qui est F est aussi G, sans que cette régularité ne corresponde à une loi. Maintenant le démiurge la commande : « N(F,G) », qu'il exécute aussitôt. Que se passe-t-il dans le monde, au niveau des particuliers ? Une première façon de concevoir cette modification est de dire que les états de choses particuliers, comme F(a) et G(a) ne connaissent aucune modification intrinsèque et essentielle, mais que désormais, ce *doit* être le cas que G(a) dès que F(a). C'est ce qui ressort de ce passage de Dretske :

> La relation contingente entre propriétés qui est décrite impose une qualité modale aux événements particuliers qui tombent dans son périmètre. Ce F doit être G. Pourquoi ? Parce que la F-ité est liée à la G-ité ; la première propriété entraîne ou génère la seconde, de la même façon qu'un changement dans la conductivité thermique conduit un changement dans la conductivité électrique. Le schéma d'inférence est celui-ci : « F-ité → G-ité, or ceci est F, donc ceci doit être G ». (Dretske, 1977, p. 264)

Dans une situation où c'est une loi que ce qui est F est G, les faits particuliers « a est F » et « a est G » sont exactement les mêmes que dans un monde sans loi. Mais le fait que a soit F *et* G est maintenant nécessité par la relation nomique « → » entre les propriétés. Si l'on suit cette façon de concevoir la nécessitation, alors on souscrit pleinement à la thèse de l'indifférence humienne des particuliers, puisque l'existence de la loi ne les modifie qu'extrinsèquement, en leur apportant une « qualité modale » en vertu de la relation entre leurs propriétés.

Mais on trouve aussi, en particulier chez Armstrong, une seconde façon de concevoir la nécessitation nomique, qui ne souscrit pas à la thèse de l'indifférence humienne. Nous avons en effet vu à la section 1.3.2. qu'à partir du moment où il conçoit la loi elle-même (l'état de choses N(F,G)) comme un universel, qui doit avoir ses propres instances, alors un particulier qui est instance de la loi n'est plus exactement la conjonction F(a)^G(a). Une instance de la loi est plutôt l'instanciation de la relation N(F,G) par F(a) et G(a) : [N(F,G)](F(a),G(a)). Ce fait particulier est un fait relationnel externe par rapport à F(a) et G(a), car la connexion nomique N(F,G) s'ajoute à eux et à ce qu'ils sont déjà. [N(F,G)](F(a),G(a)) est la véritable instance de la loi N(F,G). Or, dans ce cas, un monde où cette loi est le cas est un monde où la régularité qui manifeste la loi n'est pas la série des conjonctions F(*x*)^G(*x*), mais la série des instances particulières de la loi : pour tout *x*, [N(F,G)](F(*x*),G(*x*)). Dans ce monde, la régularité phénoménale n'est donc pas la même que dans un monde humien, puisque le fait que ce soit une loi que tous les *x* qui sont F sont G se manifeste par des connexions nomiques particulières entre les états de choses F(*x*) et G(*x*).

Si l'on considère cet aspect-là de la théorie d'Armstrong, alors son universalisme est véritablement non-humien[98]. Mais la thèse humienne de l'indifférence des particuliers est le plus souvent reconduite par les universalistes, et elle n'est donc pas propre à la position régulariste.

3.2.2.3. Contre la thèse de l'indifférence humienne.

La thèse de l'indifférence humienne remonte au *Traité sur la nature humaine* de Hume : on n'a pas accès, ni par expérience ni par le raisonnement, aux connexions nomiques entre les phénomènes particuliers, et par conséquent on vit dans un monde composé de particuliers dont on ne sait pas *s'ils sont ou non* des instances de lois de la nature ; la conclusion qu'un humien veut en tirer est que des particuliers qui sont instances de loi de la nature sont exactement ressemblants à des particuliers qui n'y sont pas soumis, mais sont purement accidentels. Que vaut cet argument ? On s'aperçoit qu'il part d'une prémisse épistémique, pour arriver à une conclusion ontologique, et il est utile de le mettre sous forme standard pour voir s'il n'y a pas un saut illégitime dans l'inférence :

> *(P1) Un particulier est humien s'il existe sans être l'instance d'aucune loi, ou bien s'il est exactement ressemblant à ce qu'il serait s'il était instance d'une loi de la nature. Une uniformité est humienne si chacun des faits particuliers qui la composent est un particulier humien.*
> *(P2) Les particuliers concrets et spatio-temporels auxquels nous avons accès par expérience nous sont accessibles indépendamment de leurs éventuelles connexions nomiques, ou sans que l'on sache s'ils sont ou non les instances d'une loi de la nature. Les uniformités phénoménales, composées des particuliers auxquels nous avons accès par expérience, nous sont accessibles sans que l'on sache si elles correspondent à des lois de la nature.*
> *DONC : les particuliers concrets et spatio-temporels auxquels nous avons accès par expérience, et les uniformités phénoménales qu'ils composent, sont humiens.*

Par exemple, nous avons fait à de multiples reprises l'expérience que des morceaux de cuivre conduisaient l'électricité. Supposons alors que l'uniformité suivante est bien le cas : tous les morceaux de cuivre (passés, présents et futurs) sont conducteurs d'électricité. Mais si c'est le cas, nous ne pouvons pas pour autant être certain que c'est une loi que tous les morceaux de cuivre conduisent l'électricité. Comme nous ne savons pas s'il s'agit d'une loi de la nature ou non, les mêmes faits particuliers (qui

[98] Malgré cette différence majeure avec Dretske, qui tient au fait qu'Armstrong cherche aussi à rendre compte des relations causales particulières à partir de son ontologie des lois et de la nécessitation nomique, Armstrong continue en de nombreux passages de souscrire à la thèse humienne. Par exemple, il écrit que « bien que N(F,G) ne soit pas le cas par une nécessité logique, s'il est le cas, il implique l'uniformité humienne (ou cosmique) correspondante : (x) $(Fx \rightarrow Gx)$ » (p. 84-5). Dans ce passage, on lit bien que la régularité nomiquement fondée est une uniformité humienne, qui manifeste une loi parce qu'elle est « impliquée » par elle.

composent cette uniformité) sont instances de cette loi dans un monde possible, et exactement ressemblants à des particuliers qui ne sont pas instances d'une loi dans un autre monde possible. Mais cet argument est un *non sequitur*, puisqu'il n'y a pas de lien de conséquence entre le fait que nous ne fassions pas l'expérience des particuliers comme instances d'une loi, et le fait qu'ils pourraient réellement être ou non instances d'une loi.

On peut par conséquent tout à fait accepter les prémisses (P1) et (P2), tout en niant la conclusion. (P1) n'est que la définition des particuliers humiens comme des particuliers qui satisfont la thèse de l'indifférence humienne, définition que nous acceptons. (P2) est certainement vraie : nous ne savons pas si les états de fait particuliers et spatio-temporels auxquels nous avons accès par l'observation sont ou non des instances de lois de la nature. Ils peuvent l'être, mais le sens de cette possibilité n'est qu'épistémique : nous ne savons pas s'ils le sont en effet. Le rapport avec l'induction scientifique est immédiat : dire que des particuliers peuvent être instances de lois de la nature, en ce sens, c'est simplement les faire entrer dans une base inductive, c'est-à-dire dans une classe de faits observés ou observables qui confirment l'énoncé hypothétique d'une loi. Mais il n'y a pas de conséquence logique entre cette possibilité épistémique et une possibilité réelle, telle qu'utilisée dans (P1).

Ce qu'il faut présupposer, en revanche, pour rendre l'argument valide, c'est (P3) que les instances des lois de la nature *nous* sont ou seraient accessibles *comme* particuliers spatio-temporels et concrets. Autrement dit, il faut présupposer une conception ontologique bien précise des instances des lois de la nature. (P3) permet en effet de dire à partir de (P2) que ces particuliers concrets que nous expérimentons soit sont les instances d'une loi actuelle, soit ne le sont pas mais qu'il existe un monde où des particuliers concrets, exactement ressemblants à ceux-ci, le sont, et alors de conclure que les uniformités phénoménales sont humiennes. Au fond de la position humienne, il y a donc un présupposé très fort sur la nature des instances de lois. Sans ce présupposé, purement ontologique, l'argument humien n'est pas valide. Et comme (P3) relève de la conception que l'on se fait *a priori* des instances des lois, il n'est absolument pas supporté empiriquement.

S'il y a des lois dans notre monde, il faut espérer que leurs instances nous soient empiriquement accessibles. Mais la conception de ce que c'est que d'être instance d'une loi n'est pas empiriquement donnée ! A nouveau, comme au chapitre II, nous rencontrons au fondement de la position adverse (nominaliste tantôt à propos de l'existence des propriétés, humienne maintenant sur les lois de la nature) une présupposition ontologique très forte sur la nature de la particularité (la particularité des instances de propriétés tout à l'heure, celle des instances de lois maintenant). L'humien présuppose que les instances des lois sont ou seraient les particuliers spatio-temporels que nous observons (les « *concrete bulks* » de Williams). Nous défendons, au contraire et sur des bases d'abord complètement *a priori*, une conception différente (et non-humienne) de la nature de l'instance nomologique.

Montrons maintenant que compte tenu de cette conception, il suffit qu'il existe une régularité (d'un certain type de particuliers non-humiens) pour qu'une loi existe, qui lui corresponde. Cette thèse est indépendante de notre position régulariste, qui ajoute que cette régularité *est* la loi en question.

3.2.3. Le problème des régularités accidentelles dissout.

Nous défendons une forme de régularisme qui ne souscrit à aucune des deux thèses humiennes, et commence par repousser la thèse de l'indifférence. Comme les régularistes et les universalistes, nous admettons que la loi est un aspect contingent de la réalité ; nous ajoutons que si la loi a effectivement cours (avec son cours conçu comme une contrainte globale), alors il faut admettre que les instances de la loi, qui tombent dans son périmètre et suivent son cours, ne sont pas des particuliers humiens.

La première condition, qui affirme le caractère non nécessaire des lois de la nature, est paradoxalement exigé pour ne pas souscrire à l'indifférence humienne. En effet, si les lois de la nature existaient nécessairement, c'est-à-dire si les propriétés F et G étaient reliés en vertu de ce qu'elles sont intrinsèquement, alors les connexions nomiques entre états de choses particuliers F(a) et G(a) seraient aussi internes et n'ajouteraient donc rien aux faits particuliers qu'elles relient – comme vu à la section 1.3.2.2. En revanche, si la loi n'est pas nécessaire, alors nous soutenons, contre les humiens, que le cours régulier de ses instances n'est pas réductible à des faits particuliers humiens. Les instances de la loi s'ajoutent à ce que seraient les particuliers si la loi n'était pas le cas. Ces instances particulières ne sont pas des particuliers humiens, parce qu'elles sont constituées de façon extrinsèque, par la loi.

A quoi identifions-nous donc les instances de la loi ? Comme nous avons défini la loi comme l'appariement entre deux structures de déterminations quantitatives, ses instances consistent simplement les appariements particuliers $I_i(f_i, g_i)$, qui relient toute paire f_i et g_i, selon une contrainte globale. C'est ici que nous nions précisément la thèse de l'indifférence humienne : l'existence de la loi se traduit, au niveau des particuliers, par le fait que l'ensemble de ces faits relationnels particuliers $I_i(f_i, g_i)$ sont le cas. Or les relations I_i sont externes, au sens expliqué à la section 3.1.2., ce qui nous permet de dire qu'elles ne sont pas le cas en vertu seulement *de ce que sont* les particuliers reliés f_i et g_i. Le fait que la loi L : F = αG ait cours est donc analysé comme le fait qu'existent une série de faits particuliers relationnels $I_i(f_i, g_i)$ qui ne seraient pas le cas si la loi n'existait pas. Un monde où la loi L existe et vaut comme loi est donc, *au niveau même des particuliers*, différent d'un monde sans loi, puisque les instances de la loi sont des particuliers qui existent dans le premier monde, mais pas dans le second.

Or, si l'instance d'une loi est un fait relationnel $I_i(f_i, g_i)$ qui est le cas seulement si la loi, c'est-à-dire l'appariement complet entre tous les f_i et g_i, existe, alors dès qu'un seul fait $I_i(f_i, g_i)$ est le cas, la loi existe. Cela vient seulement du fait que ce fait particulier n'est pas humien, c'est-à-dire pas constitué uniquement par des caractéristiques particulières intrinsèques. Dans ce qu'il *est*, entrent

constitutivement les faits extrinsèques d'être dans des relations déterminées avec l'ensemble des autres faits particuliers d'appariement $I_j(f_j, g_j)$, au sein d'une loi qui les contraint globalement. Le fait particulier d'appariement entraîne l'existence de la loi comme son fondement ontologique, puisqu'il est ce qu'il est en vertu seulement de tous les faits d'appariement contraints globalement.

On peut, de cette thèse non-humienne, déduire une solution radicale au problème de la distinction des régularités accidentelles et des régularités nomologiques. En effet, si cette conception de l'instance nomologique est correcte, alors il n'existe tout simplement pas de régularité accidentelle. Une régularité composée par des faits $I_i(f_i, g_i)$ est ce qu'on appelle une variation concomitante. Comme une variation concomitante universelle implique une contrainte globale, nous pouvons dire qu'il n'y a pas de variation concomitante *accidentelle* : toutes sont des régularités nomologiques. Cette conclusion est indépendante de la nature régulariste de la loi, que nous identifions à une variation concomitante. Nous disons ici seulement que toute variation concomitante est une régularité qui *correspond* à une loi.

En effet, en dissolvant le problème des régularités accidentelles, nous avons satisfait au réquisit (R2) en l'annulant. Mais que reste-t-il alors des réquisits (R2') et (R2''), c'est-à-dire le besoin de rendre compte des possibilités physiques non réalisées mais qui sont prévues ou comprises dans une loi, et le besoin de fonder sur l'existence d'une loi la vérité de l'énoncé contrefactuel qu'elle supporte ?

3.3.Les modalités physiques.

L'analyse des modalités physiques que nous proposons ici n'a pas vocation à être défendue pour elle-même ou face à d'autres analyses concurrentes des modalités[99]. Nous ne la développons que pour satisfaire les deux réquisits (R2') et (R2'') qui les impliquent, et qui nous demandent de définir ce que nous entendons, dans le cadre de cette théorie des lois, par « possibilité physique » et « nécessité physique ». Mais, comme on va très vite s'en apercevoir, la théorie présentée est actualiste, c'est-à-dire qu'elle ne donne pas un sens analytique aux catégories modales de possibilité et nécessité (physiques), mais les explique par des faits primitifs *actuels*.

Si cette explication actualiste des modalités paraît satisfaisante, nous espérons du même coup qu'en sera renforcée la théorie régulariste des lois défendue ici. En effet, les modalités impliquées dans le rapport entre une loi et ses instances empiriques semblait disqualifier le régularisme (section 1.1.2.3.). D'abord, un fait particulier qui est instance d'une loi semble être d'une certaine façon « nécessité » physiquement, ce que ne permet pas de penser le régularisme humien parce qu'être un fait compris dans une uniformité humienne n'est pas du tout être nécessité par cette uniformité. Ensuite, une loi de la nature semble bel et bien envelopper des cas qui ne sont pas empiriquement réalisés (l'exemple de la loi

[99] Pour connaître d'autres positions sur le sujet, on peut se référer à (Armstrong, 1989), (Kistler, 2004) et à (Bigelow & Pargetter, 1990).

d'inertie le démontre parfaitement), et on souhaite que ces cas correspondent, en tant qu'ils sont admis par les lois, à des « possibilités » physiques. Comment y arriver ?

Pour cela, nous allons commencer par présenter notre analyse des modalités physiques, avant d'expliquer quelle théorie de la « nécessitation physique » en découle. Une fois ces modalités analysées par des faits actuels, nous expliquerons enfin quel est selon nous le fondement actuel de l'induction.

3.3.1. L'actuel physique.

L'ontologie DVQ est d'orientation actualiste, c'est-à-dire que selon elle, tout ce qui est existe actuellement. Il n'existe rien qui soit *seulement possible*, mais non réalisé dans le monde actuel. De façon symétrique, comme elle nie toutes les modalités *de re*, elle doit aussi refuser la signification ontologique de la nécessité, en affirmant qu'il n'y a rien dans le monde actuel qui soit *nécessairement* le cas. Nous n'allons pas défendre pour elle-même cette théorie déflationniste des modalités, ce qui supposerait l'examen de toutes les théories concurrentes. Nous allons seulement expliquer comment, malgré cet actualisme, nous parvenons à rendre compte des modalités qu'on associe en général avec l'existence de lois de la nature, c'est-à-dire la possibilité et la nécessité physiques.

3.3.1.1. Être physiquement réel.

Que signifie d'être réel ou réalisé physiquement ? Nous disons qu'est réel physiquement ce qui est un particulier au sens défini par la théorie DVQ, c'est-à-dire ce qui est une détermination d'une quantité physique. Nous souscrivons pleinement à l'intuition nominaliste selon laquelle il n'existe que des particuliers, mais proposons simplement une autre théorie de la particularité. L'originalité de cette ontologie est surtout qu'elle admet des particuliers non-spatio-temporels, et c'est cela qui nous permet maintenant d'analyser les autres modalités physiques dans des termes actualistes.

Au chapitre IV, nous avons distingué entre deux sens d'« être actuel » : être physiquement actuel, et être concrètement actuel. « Être *physiquement* actuel » correspond à ce que nous venons de définir, et renvoie donc à tout ce qui est le cas. « Être *concrètement* actuel » désigne un sous-ensemble de tout ce qui est physiquement actuel. Un particulier est concrètement actuel lorsqu'il est physiquement actuel *et* qu'il est compréseent avec un trope d'espace-temps. Un particulier concret se définit alors comme une réunion des tropes (particuliers abstraits actuels) contenant au moins un trope d'espace-temps. L'univers, tel qu'il est présenté généralement dans l'image scientifique, peut être défini comme l'ensemble des particuliers concrets. L'ensemble de tout ce qui est le cas (que l'on peut bien, à la suite de Wittgenstein, appeler « monde ») est donc plus large que l'univers, puisque nous admettons tous les particuliers non-spatio-temporels qui ne sont pas compréseents avec des tropes d'espace-temps.

Il serait dommageable en effet de réduire l'ensemble des particuliers existants aux particuliers spatio-temporels. Cette réduction est néanmoins très souvent acceptée, autant par des nominalistes comme (Field, 1980), que des réalistes des universaux comme (Armstrong, 1997). Les arguments principaux en faveur de cette réduction reposent tous sur la notion de causalité, et le fait que l'action causale d'un particulier doit, d'une manière ou d'une autre, se faire dans l'espace-temps ou en lien avec lui[100]. Si nous ne devons admettre comme réel que ce qui est causalement actif (argument inductif basé sur les pratiques d'engagement ontologique des scientifiques), ou si nous ne pouvons connaître que ce qui est causalement actif (argument épistémique), alors il faudrait bannir les particuliers non-spatio-temporels de notre ontologie.

Notre objectif n'est pas ici de répondre à ces arguments. Notons seulement que s'ils supposent d'admettre la pertinence de la catégorie de causalité en métaphysique des sciences, et dans la mesure où le projet de ce travail est de proposer une ontologie des sciences physiques mathématisées qui se passe précisément de cette catégorie, alors ces arguments nous semblent peu convaincants. Surtout, la motivation principale de cette réduction spatio-temporelle de l'existant physique n'est pas donnée dans ces arguments, et relève d'une ontologie de la particularité qui est sous-jacente : on admet couramment un rapport étroit entre la particularité et le fait d'avoir des coordonnées précises d'espace-temps. Dans la théorie naïve de l'individualité ontologique, les particuliers sont particuliers et distincts en vertu de leurs individualités différentes, mais d'après le principe de l'impénétrabilité des individus, deux individus ne peuvent pas occuper en même temps un même lieu de l'espace. Si on réduit les particuliers aux particuliers spatio-temporels, c'est souvent en raison de ces présuppositions ontologiques concernant le fondement ontologique de la particularité (*cf* chapitre II, section 3.2.).

Or, comme la théorie DVQ offre une toute autre analyse de la particularité, qui n'a aucun recours à la localisation spatio-temporelle, nous espérons du même coup lever la réticence intuitive que l'idée de particuliers non-spatio-temporels pourrait susciter. D'après la thèse DQ, il n'est absolument pas requis, pour qu'un particulier réel soit numériquement distinct des autres (et en particulier, de ceux qui sont des cas de la même propriété que lui), qu'il ait une localisation spatio-temporelle distincte. Il l'est en tant que détermination différente de la même propriété que d'autres. Le particulier, par conséquent, n'existe pas *dans l'espace-temps*, au sens où il devrait *avoir des coordonnées* spatiotemporelles pour exister particulièrement. Son existence particulière tient seulement à la déterminité de sa nature. De telle sorte que le moindre particulier physiquement réel est et existe *sub specie aeternitatis*, puisqu'il n'a aucun rapport essentiel à l'espace et au temps. La réalité physique n'est pas spatio-temporelle.

[100] Voir (Colyvan, 2001), en particulier ch. 3.

3.3.1.2. Être concrètement réel.

En quel sens, ensuite, peut-on dire que certains particuliers sont spatio-temporels ? Il faut distinguer deux sens tout à fait différents. Il y a en premier lieu les particuliers qui sont physiquement réels dans exactement le sens qui vient d'être défini, c'est-à-dire qui existent particulièrement comme déterminations différentes d'une même propriété que d'autres. Mais il y a des propriétés spatio-temporelles, comme par exemple la distance d'espace-temps. Il y a donc des particuliers qui sont spatio-temporels simplement comme déterminations de propriétés spatio-temporelles. On parlera alors de tropes d'espace-temps. Concernant ces particuliers spatio-temporels, il n'y a pas plus de sens que pour tout autre particulier physiquement réel à se demander s'il existe *dans* l'espace et le temps.

Enfin, il y a les particuliers *concrets*, qui correspondent aux particuliers accessibles par les sens et que l'on conçoit en général comme existant *dans* l'espace-temps. Nous les analysons comme des réunions de tropes compréssent (*cf* chapitre III section 3.2.). Comment comprendre alors le fait d'exister dans l'espace-temps, ou comme le suggère l'étymologie de « phénomène », le fait *d'apparaître* spatio-temporellement ? Nous disons qu'un particulier est concret, ou encore, est un « phénomène », s'il est une réunion de tropes compréssents contenant au moins un trope d'espace-temps.

Nous disons « au moins un », parce qu'il est métaphysiquement possible, c'est-à-dire compatible avec la signification des catégories ontologiques utilisées, qu'une même réunion de tropes soient compréssentes avec plusieurs tropes d'espace-temps. Dans ce cas, le particulier est dispersé (*scattered*), au sens où il apparaît en plusieurs endroits de l'espace-temps. La multilocalité d'un particulier dispersé est beaucoup plus claire à concevoir que la multilocalité d'un universel, parce que le particulier dispersé existe et est ce qu'il est indépendamment de tout lien avec l'espace-temps, seulement par sa nature déterminée. Nous n'avons donc aucun problème à admettre qu'il soit réuni par un lien de compréssence avec *plusieurs* tropes d'espace-temps, et qu'ainsi il *apparaisse* à plusieurs endroits de l'espace-temps, tout en étant un seul et unique particulier, exactement de la même façon qu'on admet la possibilité de croiser une même personne en plusieurs lieux au long d'une même journée.

C'est à partir de cette distinction, entre tout ce qui existe actuellement et le sous-ensemble de des particuliers concrets ou « phénomènes », que nous allons analyser les catégories de la possibilité et de la nécessité physiques.

3.3.2. Les possibilités physiques.

Selon la position actualiste adoptée ici, les particuliers physiquement possibles et les particuliers physiquement nécessaires appartiennent à l'ensemble des particuliers physiquement réels, et il n'y a pas de particuliers purement possibles. Le fait que l'ensemble des *possibilia* soit compris dans l'ensemble des *actualia* est une marque de l'actualisme. Comment ne pas admettre les possibilités physiques non-

réalisées, alors que des énoncés contrefactuels vrais, supportés par des énoncés nomologiques vrais, portent sur elles ? Nous devons rendre compte de ces conditions de vérité tout en expliquant, dans le cadre actualiste, la signification de ce « non-réalisées ». Il y a ensuite les nécessités physiques, c'est-à-dire la « qualité modale » (Dretske) des faits particuliers qui tombent dans le périmètre des lois de la nature, et ne sont pas seulement le cas, mais sont réels en vertu de l'existence de la loi. Concernant la nécessité physique, notre position actualiste nie également sa réalité, en affirmant qu'il n'y a pas, au sein des particuliers physiquement réels, un sous-ensemble de particuliers nécessaires *de re*. Nous allons expliquer la signification qu'ont ces modalités dans ce cadre actualiste en nous fondant sur la distinction entre les particuliers physiquement réels et les particuliers concrètement réels.

3.3.2.1. La possibilité physique comme compatibilité avec les lois de phénoménalisation.

Pour cela, nous devons caractériser une catégorie spéciale de lois de la nature, que nous appelons les « lois de phénoménalisation ». Une loi est une relation de variation concomitante entre plusieurs propriétés physiques. Elle est une loi de phénoménalisation si et seulement si au moins l'une de ces propriétés physiques est une quantité spatio-temporelle. Les quantités spatio-temporelles sont les quantités correspondant aux intervalles d'espace (la Distance), de temps (la Durée) ou d'espace-temps, ou bien définies en fonction de ces quantités spatio-temporelles primitives. Par exemple, la Vitesse instantanée, le Volume, l'Accélération, la Période, etc. Une loi de phénoménalisation gouverne donc les relations d'appariement entre des particuliers non-spatio-temporels et des particuliers spatio-temporels. Le choix du nom, « phénoménalisation », vient du fait que nous appelons *phénomènes* les particuliers concrets, définis comme des réunions de tropes compréssents avec au moins une détermination d'espace-temps. Les lois de phénoménalisation gouvernent donc le rapport entre les grandeurs physiques non-spatio-temporelles (comme la masse, la charge, etc.) et les grandeurs spatio-temporelles, au sein de ce qu'on appelle les phénomènes. Ces lois jouent un rôle crucial dans la définition des modalités physiques.

En amont de toute analyse ontologique des modalités, on dit en général qu'un état de fait est une « possibilité physique non-réalisée » au sens où cet état de fait n'est pas apparu dans l'espace-temps, mais il pourrait l'être sans contredire de loi de la nature. Nous nous proposons d'analyser précisément cette intuition dans un cadre actualiste où l'on admet des particuliers physiquement réels et non-spatio-temporels. Nous appelons alors physiquement possible un particulier physiquement réel qui *peut* être *concrètement* réel, c'est-à-dire être compréssent avec un particulier spatio-temporel sans contredire une loi de la nature. Évidemment, tout particulier physiquement réel ou bien est aussi concrètement réel ou bien ne l'est pas, et ceci est une question de fait (voir l'analyse de la nécessité section 3.3.3.). Mais un particulier physiquement mais non concrètement réel est une « possibilité physique non-réalisée » si c'est un particulier non spatio-temporel dont la compréssence avec une détermination d'espace-temps est compatible avec les lois de la nature.

Évidemment, nous n'avons fait que repousser le problème, si nous pensons avoir suffisamment analysé la possibilité physique en l'enfermant dans l'expression « compat*ible* avec les lois de la nature », qu'il faut définir. La compatibilité ou l'incompatibilité avec les lois de la nature se décrivent comme des états de fait tout à fait *actuels.* Le fait qu'un particulier non-spatio-temporel *puisse* être compresent avec un trope d'espace-temps ne renvoie pas à une situation *purement possible* où ce particulier, apparaissant dans l'espace-temps, ne *contredirait* aucune loi, mais s'analyse comme une caractéristique actuelle de ce particulier. Laquelle ? Un particulier simple (ou complexe) est physiquement possible si la propriété (ou les propriétés) dont il est une détermination n'est appariée à aucune propriété spatio-temporelle au sein d'une loi de phénoménalisation. Comme ce sont ces lois qui gouvernent l'apparition des particuliers dans l'espace-temps, il faut et il suffit qu'une propriété ne soit présente dans aucune de ces lois pour que les particuliers qui en sont les instanciations soient des possibilités physiques. C'est donc une condition entièrement actuelle, l'existence des lois de phénoménalisation, qui permet d'analyser la signification de la possibilité physique. Parmi l'ensemble des particuliers physiquement réels, le sous-ensemble des particuliers dits physiquement possibles est bien défini par *ce que sont* les lois de phénoménalisation[101].

3.3.2.2. Les possibilités physiques non-réalisées et les contrefactuels nomologiques.

On distingue ensuite parmi cet ensemble des possibilités physiques deux sous-ensembles, selon que ces états de fait physiquement possibles sont ou non, *de facto*, compresents avec un trope d'espace-temps. Il y a d'abord des états de fait qui existent dans l'espace-temps, au sens où ils font partie de particuliers concrets ; mais leur compresence avec au moins un trope d'espace-temps est un pur fait contingent, au sens où il n'est pas le cas particulier d'une loi de la nature. Ce sont, au fond, les seuls faits authentiquement *humiens* que nous admettons dans notre ontologie – et ils ne représentent aucune menace, puisqu'ils *ne sont pas* les faits particuliers qui entrent dans le périmètre des lois de la nature. Nous verrons plus bas que l'enjeu principal pour fonder ontologiquement la possibilité de l'induction scientifique est la distinction nette entre *ce que sont* les faits humiens et les faits particuliers qui, *dans ce qu'ils sont*, sont des instances de lois de la nature.

[101] Il faut faire une précision, qui pourra en même temps anticiper une possible objection à cette définition du possible physique. On s'aperçoit bien que si les particuliers physiquement possibles forment un sous-ensemble de l'ensemble des particuliers physiquement réels, la grammaire standard des modalités n'est pas respectée. On tient d'ordinaire en logique modale l'inférence suivante pour une vérité nécessaire : « tout ce qui est réel est possible ». Or cette inférence serait fausse dans le cadre décrit ici, où ce qui est réel et qui est gouverné par des lois de phénoménalisation n'est pas « physiquement possible ». Plus concrètement, un état de fait qui d'après une telle loi arrive toujours dans un particulier concret et spatio-temporel, ou bien un état de fait qui d'après une telle loi n'arrive jamais dans l'espace-temps, ne peut pas être dit « physiquement possible ». Le problème que cela peut poser est qu'une telle définition de la possibilité physique semble rendre impossible le calcul modal standard. Notre but n'est pas du tout ici d'établir un fondement ontologique pour une logique modale, et il n'est même pas certain que ce but serait légitime dans un cadre actualiste. Mais il suffirait, pour retrouver les rapports traditionnels entre les extensions des termes modaux, de restreindre le terme « réel » à ce qui est concrètement réel.

Il y a enfin des possibilités physiques qui ne sont pas « réalisées concrètement », et sont celles qui fondent la vérité des contrefactuels supportés par des énoncés nomologiques vrais. Ce sont des particuliers qui ne sont compresents avec aucun trope d'espace-temps, ou des réunions de particuliers qui ne sont ne comprennent aucun trope d'espace-temps – ce qui signifie qu'ils n'apparaissent nulle part et à aucun moment dans l'univers. Il y a sens à dire qu'ils auraient pu, même si cette possibilité n'est pas *de re*. C'est seulement que leur apparition n'est pas exclue par les lois de phénoménalisation. Ils ne sont simplement pas instances de ces lois, mais peuvent très bien être des instances d'autres lois que les lois de phénoménalisation – et c'est précisément cela qui les rend intéressants, pour analyser les « possibilités physiques non-réalisées » contenues dans les lois physiques.

Nous pouvons ainsi satisfaire les réquisits (R2') et (R2''), et rendre compte des « possibilités physiques non-réalisées » en les identifiant aux cas particuliers d'une loi de la nature qui ne sont pas concrètement réalisés. Ces possibilités correspondent à des particuliers tout à fait réels physiquement, et ils existent comme tous les autres cas particuliers de la loi. En ce sens, l'argument des possibilités non-réalisées, censé mettre le régularisme en difficulté, est inopérant contre notre régularisme quantitatif. Le réquisit (R2') est donc satisfait.

Les énoncés nomologiques soutiennent légitimement des énoncés contrefactuels, et si une loi existe, on est en droit de demander que des énoncés, portant sur ce qui arriverait si un de ses cas particuliers non-réalisés se produisait, aient des conditions de vérité ontologiquement bien définies. Ces contrefactuels nomologiquement fondés sont rendus vrais par l'existence *actuelle* de ces cas particuliers de la loi qui ne sont pas *concrètement* réalisés. L'identification de leur vérifacteur à ces états de fait physiquement réels implique qu'ils ne sont pas authentiquement des contrefactuels, mais portent sur des faits réels mais abstraits, *de facto* inapparaissants dans l'univers. Cependant, la dimension de contrefactualité est capturée dans la mesure où ce qui n'est pas réalisé, c'est leur existence concrète, c'est-à-dire leur apparition dans un particulier concret, spatio-temporellement situé dans l'univers. (R2'') est donc maintenant satisfait.

3.3.3. La nécessité physique et la nécessitation nomique.

Nous passons maintenant à l'explication de la nécessité physique. Comme pour la possibilité, la seule signification *de re* que nous donnons à cette modalité appartient au cadre actualiste posé plus haut. De façon générale, un état de fait particulier est « physiquement nécessaire » si et seulement s'il est physiquement réel, et n'est qu'une instance particulière d'une loi de la nature. Parmi ces deux clauses, c'est la seconde qui est la plus importante. La première dit simplement que la classe des particuliers nécessaires est incluse dans celle des particuliers réels. La seconde porte en revanche l'essentiel de l'analyse actualiste de la nécessitation nomique.

Comme nous l'expliquions tout le long de la section 3.2., nous repoussons la thèse de l'indifférence humienne selon laquelle un particulier qui est l'instance d'une loi de la nature et un particulier qui n'est pas l'instance d'une loi peuvent être exactement ressemblants, à travers deux mondes possibles. Par conséquent, la nécessitation nomique n'est pas une « qualité modale » gagnée par un particulier en vertu de l'existence d'une loi qui le gouverne, alors qu'il serait par ailleurs exactement ressemblant avec un particulier qui n'est pas gouverné par une loi. Dans notre cadre actualiste, il n'y a rigoureusement pas de nécessité, puisqu'être l'instance d'une loi c'est simplement être un certain type de fait particulier, à savoir un fait particulier d'appariement $I_i(f_i, g_i)$ sous contrainte globale.

A nouveau, nous n'aurions fait que repousser le problème si nous avions simplement remplacé le terme « nécessitation » par l'expression de « contrainte globale ». Mais celle-ci n'a absolument aucune connotation modale. Elle signifie simplement que le fait particulier $I_i(f_i, g_i)$ est codéterminé avec tous les autres appariements particuliers $I_j(f_j, g_j)$, parce que par ailleurs, au sein de leurs structures respectives, f_i et g_i sont en relations de variations quantitatives déterminées avec tous les autres f_j et g_j. L'expression « contrainte globale » désigne donc un fait ontologique entièrement actuel, qui vient du caractère structurel des déterminations quantitatives.

Pour aider à comprendre cette position, on peut l'opposer au genre d'analyse causaliste de la nécessitation nomique recherché par Armstrong. Au tout début de la section 1.1.1.2., on a vu qu'Armstrong reproche à l'analyse régulariste des lois le fait qu'elle manquait la « connexion interne » qu'il voit entre le fait que a soit F et le fait que a soit G, en vertu de la loi N(F,G). Dans l'esprit d'Armstrong, cette exigence de « connexion interne » signifiait au moins deux choses : premièrement, que la relation ainsi désignée soit interne, et deuxièmement, que cette connexion nomique entre les deux faits particuliers F(a) et G(a) puisse être identifiée à une relation causale – l'un des buts d'Armstrong étant de proposer une analyse de la causation nomique (Armstrong, 1993b). C'est sur ces deux points, qui font de la théorie d'Armstrong (mais aussi de celle de Tooley) une analyse « causale interne » de la nécessitation nomique, que le contraste avec notre théorie est le plus fort.

D'abord, nous avons expliqué (section 1.3.2.2.) pourquoi cette connexion nomique ne peut pas être interne, si l'on maintient que les lois sont des aspects contingents de la réalité physique. Dans notre analyse des lois, la connexion nomique consiste dans le fait particulier d'appariement $I_i(f_i, g_i)$ qui est totalement externe, puisque rien dans ce que sont les particuliers abstraits f_i et g_i n'entraîne qu'ils soient ainsi connectés, c'est-à-dire que f_i soit dans ces relations avec tous les g_k et que g_i le soit avec ces autres f_k. La loi ne consiste qu'en l'ensemble des faits relationnels d'appariement, et comme elle est une régularité, elle implique bien que les connexions nomiques sont des relations externes.

Mais surtout, la théorie proposée ici ne pourrait pas du tout passer pour une analyse de la causalité. On considère en général qu'une relation causale est une relation par laquelle un fait particulier en entraîne ou en produit un autre qui lui est prochain, à la fois dans le temps et dans l'espace. Mais

aussi souple qu'on veuille bien l'être sur la proximité que doivent avoir la cause et l'effet (peut-être n'y a-t-il pas que des actions par contact), la connexion nomique conçue dans notre analyse des lois ne peut pas passer pour une relation causale. Parce qu'il suppose une loi comme contrainte globale, tout fait d'appariement $I_i(f_i, g_i)$ est déterminé par sa relation à *tous les autres* au sein d'une série de variations concomitantes. La relation I_i n'est donc absolument pas déterminée par les caractéristiques intrinsèques et locales de deux états de fait prochains f_i et g_i, comme on voudrait qu'une relation de causalité le soit un minimum. Il nous semble que ce caractère global et relationnel de la détermination de toute connexion nomique *I* empêche d'y voir le genre de connexion causale que cherchait Armstrong. Au lieu d'une théorie « causale interne » de la nécessitation nomique, nous en proposons une analyse « relationnelle, externe et globale », dépourvue de tout caractère modal.

4. Le fondement ontologique de la possibilité de l'induction.

Après avoir proposé notre analyse de la nature des lois, et l'avoir défendue en montrant qu'elle résout les problèmes qui se posaient aux autres, nous allons montrer maintenant comment elle offre un fondement ontologique à la possibilité de l'induction scientifique. Il ne s'agit pas ici à proprement parler de montrer que l'induction est possible, mais seulement que si elle l'est, alors nous avons bien identifié sa condition de possibilité. Dans la section 2., nous avons montré qu'il suffit que des lois existent et aient cours pour fonder la possibilité de l'induction. Il faut maintenant expliquer comment la conception que nous proposons du cours nomique de la loi, à la section 3.2., remplit ce rôle. Nous commencerons par expliciter les enjeux ontologiques de la fondation de l'induction, avant d'exposer notre solution.

4.1.Les enjeux ontologiques du fondement de l'induction.

L'induction est la démarche de confirmation d'un énoncé nomologique par l'observation d'une partie finie de ses instances empiriques. Comment peut-on, à partir de ces observations limitées, en inférer la vérité de l'énoncé de la loi qui les gouverne ? Il faut préciser que la question « comment peut-on ? », même si elle porte sur la démarche d'« inférer », n'a pas ici un sens épistémologique. Nous ne cherchons pas un critère ou une règle épistémologiques pour distinguer les bonnes des mauvaises inductions[102], mais à comprendre comment, lorsqu'une induction permet d'atteindre effectivement un énoncé nomologique vrai, cela est rendu possible par l'existence de la loi de la nature correspondante.

[102] Pris au sens ontologique et non épistémologique, le problème de l'induction n'est donc pas celui résumé ainsi par (Henderson, 2019) : « Comment distinguer les bonnes des mauvaises inductions ? Cette question est une formulation simple du problème de l'induction. »

4.1.1. L'enjeu principal de fondation.

A la fin de la section 2., nous avons dit que le fondement de la possibilité de l'induction se trouvait dans la vérité du Principe Matériel de l'Induction (PMI), et décomposé ce principe en une thèse existentielle et une thèse de fondation. La thèse existentielle affirme qu'*il existe* des lois de la nature correspondant à tous les phénomènes qui intéressent les scientifiques. Mais une loi doit être telle que, en existant, elle fonde le fait que les différents états de fait particuliers d'une classe pertinente soient tous des instances de cette loi. La possibilité de l'induction est donc conditionnée par la satisfaction du réquisit (R3) de fondation : que la loi de la nature *fonde* les faits particuliers qui sont ses cas particuliers. Si (R3) est démontré, alors il devient possible de tenir certains faits particuliers, rencontrés dans l'expérience, comme étant des cas de la même loi que d'autres états de fait non-observés.

Cet enjeu est d'autant plus fort que, si l'on suit le diagnostic d'Armstrong à l'égard de la théorie régulariste, elle est par principe incapable de satisfaire ce besoin de fondation. L'enjeu serait donc pour nous, en quelque sorte, de réussir à satisfaire à la fois le réquisit d'inférence (R4), si simplement garanti par le régularisme, avec la thèse (R3) de fondation, que le régularisme ne peut pas atteindre selon Armstrong. Indépendamment des doutes et des critiques que nous avons émis à l'égard de sa solution au problème de la fondation des régularités, regardons les raisons pour lesquelles Armstrong disqualifiait le régularisme au fondement de l'induction.

4.1.2. L'enjeu disputatif : renverser le dernier présupposé humien, encore présent

Pourquoi le régularisme serait-il par principe incapable de satisfaire l'exigence de fondation ? Nous allons voir que dans sa critique, Armstrong tombe dans un piège en reconduisant le présupposé de l'indifférence humienne. L'enjeu disputatif sera alors de montrer comment un régularisme non-humien peut concevoir comment une loi, conçue comme une régularité, fonde ses instances particulières.

4.1.2.1.Le piège humien.

Le piège humien s'élabore à partir de la thèse de l'indifférence des particuliers à la loi, formulée dans la section 3.2.2.1., et aboutit à fixer, comme immuable, un type de solution au problème métaphysique de l'induction : pour résoudre ce problème, il faudrait démontrer qu'il existe, en plus et au-dessus (*over and above*) des particuliers, une entité non-particulière, qu'on appellerait « loi de la nature » ; ou si l'on préfère, qu'une loi de la nature est quelque chose de non-particulier qui existe en plus et au-dessus des particuliers. Le piège est donc entièrement conçu pour tourner notre regard vers une généralité ontologique manquante, et nous désespérer de ne jamais l'atteindre, n'ayant accès qu'à des particuliers dans l'expérience. Nous monterons que c'est plutôt en concevant autrement la

particularité des particuliers que l'on peut concevoir comment une loi existe et les gouverne, et comment on peut ensuite montrer qu'elle existe. Mais comment le piège humien se referme-t-il ?

Si on admet la thèse de l'indifférence humienne, chaque particulier est ce qu'il est par des caractéristiques intrinsèques, et indépendamment du fait qu'il soit ou non instance d'une loi de la nature. Les faits particuliers qui, si une loi existe, sont ses instances, ressemblent exactement aux faits particuliers qui existeraient dans un monde où il n'y aurait pas de loi. Pour ce particulier, le fait d'être instance d'une loi est donc totalement extrinsèque à ce qu'il est comme particulier. Par conséquent, l'existence d'une loi est un fait qui s'ajoute à ce que sont (ou seraient sans elle) les particuliers qu'elle gouverne. Et ce sont paradoxalement les universalistes qui sont le plus gravement victime de la thèse humienne, car elle détermine souterrainement la façon dont ils conçoivent le fait, pour un particulier, *d'être instance d'une loi*. Pour eux, un particulier gouverné par une loi n'est pas, comme particulier, différent de ce que serait un particulier qui n'est pas instance de loi ; ce que la loi lui apporte, c'est qu'il est ce qu'il est *nécessairement,* en vertu de la loi. La loi ne change rien dans la nature des particuliers, mais leur apporte une « qualité modale » (Dretske).

La thèse de l'indifférence humienne détermine aussi la façon dont les universalistes ont conçu le statut d'une régularité. En effet, pour un humien, non seulement l'existence *d'une loi* survient sur ce que sont les particuliers concernés (thèse de la survenance humienne), mais le fait même que ces particuliers forment *une régularité* (pour le humien, une uniformité) survient sur ce qu'ils sont particulièrement et séparément. Cette conséquence de la thèse de l'indifférence humienne est en général masquée par le fait que le humien identifie la loi à la régularité. Mais pour un humien, et un aussi un universaliste qui accepte tacitement la thèse humienne de l'indifférence, le fait que divers particuliers entrent dans une même classe de régularité, c'est-à-dire le périmètre d'une éventuelle loi, survient sur ce qu'ils sont tous, et n'est aucunement constitutif de ce qu'ils sont pris séparément.

Par conséquent, accepter la thèse de l'indifférence humienne conduit quiconque à penser (1) que la loi, en existant par-dessus eux, fonde les particuliers à être ses instances en les nécessitant, mais également et surtout (2) que les régularités parmi les particuliers sont totalement survenantes, et qu'appartenir à une même classe de régularité que d'autres particuliers n'est absolument pas constitutif de ce qu'est chacun des particuliers de cette classe. Dans ce cadre humien, les régularités sont accidentelles, et l'existence d'une loi ne peut donc plus être conçue que comme un ajout ontologique à tout ce qui existe déjà au niveau des particuliers, et qui rend ou rendrait nécessaire les régularités.

4.1.2.2.Dans lequel tombe Armstrong.

Passons donc maintenant à l'analyse par laquelle (Armstrong, 1983, p. 52) montre que le régularisme humien ne peut pas offrir de fondement suffisant pour la possibilité de l'induction, mais aussi démontre par la même occasion qu'il tombe droit dans le piège tendu par les humiens. Mais nous

devons avant reformuler ses critiques, dans la mesure où Armstrong mélange des problématiques épistémologique et ontologique que nous aimerions distinguer[103]. Ce mélange est volontaire chez lui, et essentiel à son argumentation. Armstrong identifie le principe matériel de l'induction (l'existence de lois de la nature), qui est un énoncé métaphysique, à la conclusion d'un raisonnement que devraient faire les scientifiques (une inférence à la meilleure explication). Selon lui, il est rationnel de postuler l'existence de lois de la nature, qui ne se réduisent pas à des simples régularités empiriques, parce que ce postulat est la meilleure explication des régularités observées et le meilleur fondement pour inférer les régularités prédites. Comme preuve du principe métaphysique d'existence de lois de la nature, ce raisonnement ne nous semble pas recevable, pour au moins deux raisons.

Premièrement, Armstrong demande de postuler la rationalité de l'inférence à la meilleure explication des régularités phénoménales, et d'en conclure l'existence de lois, parce que c'est la seule façon d'éviter le « scepticisme inductif ». Ce scepticisme inductif nierait que les inductions scientifiques soient ontologiquement fondées, en affirmant que nous n'atteignons rien et ne *pouvons* rien atteindre par induction, qui soit une vérité sur des lois dans la nature. Mais Armstrong raisonne dans le mauvais sens, en supposant qu'il *faut* éviter ce scepticisme et *donc*, postuler l'existence des lois. Or le scepticisme inductif est une position tout à fait recevable, qu'il n'y a aucune nécessité à éviter. Au contraire, il faut *prouver* qu'il existe des lois *pour* éviter le scepticisme inductif.

Ensuite, nous partons ici de l'hypothèse selon laquelle l'existence des lois de la nature est un présupposé métaphysique que doivent faire les scientifiques, et non le résultat de leurs inférences. Si, comme le pense Armstrong, identifier les lois à de simples régularités empêche d'expliquer les phénomènes (*cf* section 1.1.1.2.), c'est que pour lui *l'existence* des lois entre dans l'explication scientifique des faits observables, et que l'induction scientifique permet à la science de confirmer *l'existence* des lois. En somme, la disqualification du scepticisme inductif serait un résultat scientifique. Or ici notre présupposé est totalement inverse : l'existence des lois est une présupposition métaphysique que doivent faire les scientifiques, parce que le scepticisme inductif rendrait la science expérimentale impraticable. Mais ce que peuvent établir les scientifiques par induction n'est pas l'existence des lois, mais quelles elles seraient, si elles existaient.

Intéressons-nous en revanche à ses analyses dirigées contre le régularisme, en les reformulant sur un pur plan ontologique. Ce qu'Armstrong formule en termes d'explication, nous le traduisons en termes de fondation ontologique. Il reproche à la conception régulariste des lois de la nature son incapacité à rendre possible l'induction, parce qu'elle échoue à fonder les régularités. En effet, si la loi désignée par NU : « C'est une loi que pour tout x, $F(x) \rightarrow G(x)$ » est identifiée à une conjonction d'états de fait particuliers, alors elle ne consiste qu'en la conjonction des états de fait qui sont ses instances : F(a)^G(a), F(b)^G(b), etc. Par conséquent, demander que la loi fonde la conjonction de ses instances

[103] Nous avons déjà cité le passage en question à la section 1.1.1.3. du présent chapitre.

revient à demander que cette conjonction se fonde elle-même, ce qui est absurde. On ne peut pas considérer que la régularité est fondée par l'existence de la loi, si la loi se réduit à cette régularité. Pour un humien, la loi est au contraire le cas en vertu de la régularité, puisqu'elle survient sur les faits particuliers. A première vue, Armstrong critique donc la thèse de la *survenance* humienne qui ne permet pas de comprendre la possibilité de l'induction.

Mais on s'aperçoit, en prolongeant l'examen, qu'Armstrong avalise en même temps la thèse de *l'indifférence* humienne avec ses deux conséquences. En effet, en réclamant que la loi soit identifiée à quelque chose en plus et au-dessus des particuliers (« *an extra thing* »), qui nécessite les particuliers formant la régularité, il démontre (1) que pour lui la loi, en existant par-dessus eux, fonde les particuliers à être ses instances en les nécessitant. Mais surtout, Armstrong suppose comme les humiens (2) qu'une régularité est totalement survenante sur les faits particuliers, car c'est précisément cette présupposition humienne qui lui fait repousser le régularisme.

Admettons par exemple que l'on étudie la couleur des émeraudes, et que l'on cherche à découvrir le rapport nomique entre le fait d'être une émeraude et le fait d'être de telle ou telle couleur. Concrètement, on a observé un certain nombre d'émeraudes, et parce qu'elles étaient toutes vertes, on forme l'hypothèse que c'est une loi que toutes les émeraudes sont vertes. Par induction, on cherche à confirmer cette hypothèse par l'observation de ses cas particuliers, les émeraudes observées, mais aussi par la vérification de nos prédictions concernant les émeraudes non-observées. L'induction d'une loi concernant la couleur des émeraudes est donc possible si et seulement si les cas observés et les cas non-observés sont instances de la même loi. Or, pour Armstrong, le fait que les diverses émeraudes (observées comme non-observées) soient toutes des instances de la même loi ne pourrait pas être le cas si la loi se réduisait à la classe de régularité elle-même (l'ensemble de ces émeraudes).

Le raisonnement d'Armstrong est simple. Admettons la thèse régulariste que la loi est seulement la classe de faits réguliers. On veut que la loi fonde les divers particuliers à être ses instances. Si la loi est la classe de faits réguliers, être instance de la loi c'est seulement appartenir à la même classe de faits réguliers que d'autres faits (peut-être non-observés). Mais pour un état de fait particulier, appartenir à une même classe de régularité que d'autres n'est pas constitutif de ce qu'il est, mais survient sur l'ensemble de ces états de faits. Les faits particuliers qui composent la régularité sont ontologiquement premiers, et la régularité survient sur eux. C'est en supposant cela qu'Armstrong en vient à trouver absurde ce qui nous apparaîtra au contraire tout à fait sensé : qu'une régularité puisse fonder les cas particuliers qui la composent à être instances d'une même loi.

On retrouve donc entièrement cette conséquence de la thèse de l'indifférence humienne, que divers particuliers n'appartiennent pas *par eux-mêmes* à une même classe de régularité, mais que cette classe est survenante. C'est en supposant cela qu'on arguer comme Armstrong l'incapacité d'une régularité à fonder les particuliers à être ses instances. Comme il suppose cette thèse humienne, Armstrong ne peut atteindre par ses arguments que la forme humienne du régularisme. Nous vérifierons

dans la section suivante qu'un régularisme non-humien permet de concevoir comment une régularité fonde ontologiquement ses instances, et rendre donc possible l'induction.

4.1.3. L'enjeu interne : l'abandon de la répétition à l'identique dans l'expérience.

Il faut enfin relever un enjeu interne à l'ontologie présentée dans ce travail, qui est une suite de la théorie DVQ des propriétés exposée au chapitre III. Dans sa section 4.2.3., nous avons signalé que cette théorie pouvait avoir une conséquence apparemment fâcheuse concernant l'induction, dans la mesure où la thèse DQ implique que les instances distinctes d'une même propriété sont des déterminations différentes de celle-ci. Si c'est bien le cas, alors il n'y a pas dans la réalité deux cas particuliers exactement ressemblants de la même propriété. Si une loi s'analyse bien comme un rapport entre propriétés, alors cela signifie par conséquent qu'il n'y a pas deux instances exactement ressemblantes de la même loi, puisqu'il n'y a jamais deux instances exactement ressemblantes de chacune des propriétés appariées.

A première vue, cette conséquence paraît désastreuse pour la possibilité de l'induction, dans la mesure où d'après le modèle traditionnel de l'induction énumérative, c'est par l'observation d'une répétition de particuliers distincts *solo numero* que l'on induit des lois par généralisation. Nous allons maintenant répondre, partiellement, à cette inquiétude. L'enjeu ontologique de ce chapitre est de montrer comment une classe de particuliers qui sont en relations de variations concomitantes, et non de ressemblance exacte, peuvent rendre l'induction possible. Ce sera enfin le but du chapitre IX de répondre aux aspects épistémologiques du problème, en disqualifiant le modèle traditionnel de l'induction énumérative basée sur des cas identiques qualitativement.

Néanmoins, nous pouvons tout de suite rendre moins crédible la thèse selon laquelle une répétition de cas exactement ressemblants est nécessaire pour que l'induction soit fondée. Cette thèse en implique en effet une autre qui doit nous paraître tout à fait étrange et difficile à admettre. En effet, s'il fallait que les diverses instances d'une loi se ressemblassent, pour être effectivement instances de la même loi, alors cela voudrait dire qu'en ayant observé une portion (finie) de ces instances, nous serions dans une situation épistémique bien précise. Nous ne saurions pas si une loi existe, qui gouverne ces états de fait particuliers, mais nous saurions néanmoins quelle serait cette loi, si elle existait. Reprenons l'exemple des émeraudes vertes. On en a observé un nombre fini, et aussi grand que soit ce nombre, on n'est pas certain que ce soit une loi que toutes les émeraudes sont vertes. Peut-être n'est-ce qu'une régularité locale et purement accidentelle, et qu'il existe des émeraudes bleues jamais observées. Mais, pense-t-on, si une loi devait gouverner ces états de fait particuliers, on sait bien ce qu'elle serait : ce serait une loi imposant que toutes les émeraudes sont vertes. Autrement dit, on admettrait que, dans l'ignorance de l'existence actuelle des lois de ce monde, on possèderait néanmoins une sorte de savoir conditionnel sur les lois : on saurait que si elles existaient, les lois seraient telles et telles.

Or cette conséquence nous semble totalement inacceptable, et en la rejetant, nous sommes fondés à ne plus tenir pour nécessaire à la possibilité de l'induction, que les cas particuliers d'une loi soient exactement ressemblants. Nous rejetons cette conséquence pour deux raisons. Premièrement, elle n'est empiriquement pas adéquate, parce que nous ne sommes pas dans la situation épistémique décrite. Devant un ensemble de phénomènes, loin de savoir parfaitement ce que serait la loi de la nature qui leur correspondrait, et de ne chercher qu'à prouver qu'elle existe, les scientifiques se donnent pour tâche généralement de découvrir *quelle* est la loi, et non de démontrer *l'existence* de cette loi. C'est surtout le premier point qui compte ici : ils ne semblent pas posséder le savoir conditionnel décrit au-dessus.

Deuxièmement, penser que si existait une loi pour ces phénomènes, alors elle serait *cette* loi et non *cette* autre, c'est présupposer implicitement le résultat d'une induction illégitime. C'est présupposer en effet que si une loi existe, alors elle se manifeste au niveau de ses instances particulières par leur uniformité dans l'expérience. Nous avions appelé cette présupposition le « principe formel de l'induction » à la section 2.2.4., et l'avions rejetée comme conclusion d'un raisonnement invalide. Nous ne pouvons pas tenir pour certain qu'une loi, si elle existe, implique une *uniformité* phénoménale, c'est-à-dire une suite de cas particuliers exactement ressemblants. Tout ce que nous pouvons exiger, c'est qu'une loi, en existant, fonde une *régularité*, c'est-à-dire l'existence d'une classe de particuliers qui sont tous des instances de la même loi. Maintenant, il nous reste précisément à présenter notre solution au problème de fondation de l'induction, qui doit répondre à ces trois enjeux ontologiques.

4.2. Une solution régulariste non-humienne au problème de l'induction.

Montrons comment un régularisme mathématique et non-humien, comme ontologie des lois de la nature, permet de fonder la possibilité de l'induction. Pour cela, nous partons d'un exemple qui concerne un type bien particulier de lois, celles qui gouvernent les trajectoires de corps. C'est à partir de ce cas particulier que nous pourrons mettre en difficulté les thèses humiennes. Ensuite, nous généraliserons en montrant que repousser la thèse de l'indifférence humienne nous permet de concevoir comment une régularité fonde les particuliers qui la composent à être instances de la même loi. Nous expliquerons alors comment les variations concomitantes, conçues comme des régularités non-humiennes, permettent de satisfaire le réquisit (R3) de fondation et de possibilité de l'induction.

4.2.1. Exemple d'une variété spatio-temporelle.

Pour présenter le plus adéquatement possible le concept de régularité non-humienne, nous allons prendre l'exemple d'une variété d'états de fait spatio-temporels, et argumenter dans ce cas précis contre la vision humienne des régularités. Nous généraliserons ensuite à toute régularité.

Soit cette variété d'états de fait : toutes les positions d'un corps massif C qui gravite autour du Soleil. Ces différents particuliers consistent donc tous dans le fait que C occupe un point p_i déterminé de l'espace (nous mettons le temps entre parenthèses pour ne considérer dans cet exemple que la trajectoire du corps dans l'espace). La classe des p_i est une variété spatio-temporelle, au sens où ces divers faits particuliers sont distincts seulement par leurs aspects spatio-temporels. Plaçons-nous maintenant dans un monde où ces phénomènes sont bien gouvernés par une loi, la première des lois de Kepler : une planète décrit une ellipse E dont le Soleil occupe l'un des foyers. C'est donc une loi que le corps C se déplace autour du Soleil le long de E.

Quelles sont les instances particulières de cette loi, pour le corps C ? Toutes consistent dans le fait que C occupe un certain point p_i appartenant à E. Nous avons donc une nouvelle classe de faits particuliers, qui n'est pas l'ensemble des p_i mais l'ensemble des faits E(p_i) : « les positions p_i de C appartenant toutes à E ». Les faits E(p_i) sont eux aussi distincts par leurs coordonnées spatiales, et seulement par elles, parce que ces états de faits ne sont distingués que parce que les positions p_i sont des points distincts de la même ellipse E. Ils forment donc eux aussi une variété spatio-temporelle. Mais comme les points p_i sont tous des points de l'ellipse E, alors tous ces E(p_i) sont des faits particuliers qui sont distincts en tant qu'instances de la même loi, c'est-à-dire en tant qu'appartenant à la même ellipse E. Toutes les positions p_i sont maintenant des façons différentes d'appartenir à la même trajectoire E. La classe des instances de la loi de Kepler est donc en situation de *diversité interne* (d'après la terminologie du chapitre II) ou variété.

On nous dira peut-être que C peut repasser au même endroit plusieurs fois, puisqu'il tourne autour du Soleil. Mais nous avons exclu le temps et nous considérons une loi qui décrit la figure spatiale formée par les positions de C. Ses instances n'ont donc aucune coordonnée de temps, et ne sont distinctes qu'en tant que positions spatiales. Si la planète C occupe deux fois la même position de l'ellipse E, il s'agit *d'une seule* instance de la loi : le fait que C occupe ce point p_i de E. Il se peut ensuite que ce particulier soit aussi comprésent avec un ou plusieurs trope(s) de temps (instants particuliers), et il se peut surtout qu'il n'existe pas de loi qui gouverne les positions spatiales d'une planète autour du Soleil indépendamment de ses positions temporelles (quand une trajectoire elliptique présente une précession, par exemple). Mais si on l'admet, on peut entièrement transposer l'analyse précédente au cas plus complexe d'une loi gouvernant le rapport entre les positions temporelles et les positions spatiales du même corps C gravitant autour du Soleil. Si c'est le cas, alors les diverses instances de cette loi ne sont plus des positions de C dans l'espace, mais ses positions dans l'espace-temps (ou plus précisément, des appariements de ses positions spatiales et de ses positions temporelles), et ces étatsde faits particuliers sont distincts spatio-temporellement. Il n'y a de nouveau pas deux instances de la même loi qui aient les mêmes positions spatio-temporelles.

Le point important dans cet exemple est qu'un humien doit avoir beaucoup plus de mal à lui appliquer sa thèse de l'indifférence des particuliers à l'existence de la loi. Si c'est une loi que C décrit une ellipse E autour du Soleil, alors les différents particuliers qui sont les instances de la loi sont les E(p_i) : les « positions p_i appartenant à l'ellipse E », et non les seules positions p_i. Maintenant, si dans un monde possible il n'y a pas de loi pour gouverner les positions de C autour du Soleil, on peut toujours imaginer que ce corps occupe, dans ce monde, exactement les mêmes positions spatiales p_i. Mais nous n'avons néanmoins pas la même régularité, parce que ce n'est plus un fait que ces positions appartiennent à l'ellipse E. S'il n'y a pas de loi concernant la figure spatiale formée par ces p_i, alors ils ne peuvent pas *être* un p_i appartenant à cette figure. Les particuliers ne sont plus que des p_i pour ainsi dire déliées, n'appartenant plus à une même figure. Donc que le particulier qui est instance d'une loi gouvernant la trajectoire spatiale de C, et le particulier qui est une position de C sans loi, ne sont pas du tout ressemblants. Par conséquent, la thèse de l'indifférence humienne ne tient pas dans ce cas d'une loi impliquant une variable d'espace.

Nous nous ferons mieux comprendre en anticipant une objection. On pourra nous dire que dans le cas où il n'y a pas de loi, la figure formée par les diverses positions p_i n'en reste pas moins l'ellipse E. Et si on a une classe de positions p_i qui forment une ellipse E, on a alors une régularité de faits particuliers exactement ressemblants à ce que sont les positions de C gouvernées par une loi. Nous sommes là au cœur de la position humienne et c'est ici que nous pouvons lui porter le coup le plus fatal. Car les *positions* de C dans un monde sans loi sont exactement ressemblantes à celles gouvernées par une loi, mais elles ne forment pas *une* trajectoire *régulière*. En effet, puisque les p_i sont toutes distinctes en tant que positions spatiales différentes, alors en vertu de quoi un humien verrait-il dans leur ensemble une classe de *régularité* ? Il n'y a aucune régularité, mais seulement une classe arbitraire de points *différents* de l'espace. Un monde humien peut donc très bien ressembler au plan des particuliers à un monde doté de loi, il est en même temps (dans l'exemple considéré) un monde *sans régularité*. Or si un monde humien est dépourvu de régularité, il n'est pas possible d'y poser le problème de l'induction, puisque ce serait un monde dont la connaissance par des énoncés nomologiques serait impossible.

Nous avons décrit un cas très intéressant où la thèse de l'indifférence humienne ne peut pas tenir : le cas d'une variété spatio-temporelle d'états de fait. La loi relie ici les positions dans l'espace d'un corps et les différents points d'une même figure E, et ses instances sont distinctes seulement en tant qu'appariements différents d'une position p_i et d'un point de E. Dans le cas d'une telle variété, la thèse humienne ne tient parce que chaque état de fait de la régularité *est* membre de la régularité, et ne serait pas le cas s'il n'y avait pas de régularité. Mais surtout, elle ne *peut* pas tenir parce que si ce fait particulier membre de la régularité n'était pas le cas, alors il n'y aurait pas du tout de régularité mais seulement des états de fait purement *différents*. C'est surtout dans ce sens que l'exemple réfute efficacement la thèse de la survenance des régularités : un monde où nous n'avons pas ces états de fait

non-humiens, *constitués* par le fait d'appartenir à une régularité, est un monde dépourvu de régularité, et donc un monde où le problème de l'induction ne peut pas même être posé.

4.2.2. Les variétés non-humiennes en général.

Ce que nous proposons maintenant, c'est de généraliser à tous les particuliers réels la conception des instances d'un loi comme variété, qui vaut ici pour les particuliers spatio-temporels. Notre but est de concevoir l'être des particuliers instances d'une même loi, de telle sorte que ces particuliers ne peuvent pas satisfaire la thèse de l'indifférence humienne. Ils doivent donc être tels qu'en étant ce qu'ils sont, ils ne peuvent pas exister sans *être* les membres d'une classe de régularité. De cette façon, la classe de régularité ne survient pas sur l'ensemble de ces particuliers, comme dans un monde humien, mais chacun des particuliers appartient *essentiellement* à la même classe que d'autres, c'est-à-dire qu'il ne pourrait pas être ce qu'il est sans qu'existe cette classe.

Le cœur de cette ontologie des instances de loi concerne le fondement de leur distinction et diversité de particuliers. Pour cela, nous nous appuyons sur l'ontologie de la particularité développée au chapitre III : un particulier existe distinctement, et est physiquement réel, non pas parce qu'il est présent dans l'espace et le temps, mais parce qu'il est une détermination d'une même propriété que d'autres. Comme une loi est un appariement des classes d'instances de plusieurs propriétés F et G (section 3.1.), alors chaque instance de la loi consiste en un fait relationnel d'appariement entre une instance de F et une instance de G : $I_i(f_i, g_i)$. Une loi fixe globalement des variations concomitantes entre toutes les déterminations de ces propriétés. Enfin et à leur tour, comme ces particuliers f_i et g_i qu'elles relient, les différentes instances d'une même loi ne sont distinctes qu'en tant que points différents d'un même appariement. Elles sont donc en situation de diversité interne ou *variété*.

Voici alors la situation totalement non-humienne dans laquelle on se trouve. Nous avons les deux classes des déterminations de F et G, qui sont l'ensemble des particuliers instanciant ces deux propriétés : $\{f_i\}$ et $\{g_i\}$. Dans un monde où aucune loi ne porte sur les propriétés F et G, ces faits particuliers sont tout ce qu'il y a, et il n'y a en particulier aucune régularité. En effet, on peut bien former à volonté un ensemble de paires : $\{(f_i, g_i)\}$, chacune de ces paires n'est rien de plus que les deux particuliers qui la composent. Mais dans un monde où il y a une loi L : F = αG qui apparie globalement les deux classes $\{f_i\}$ et $\{g_i\}$, s'ajoutent à ces particuliers les faits particuliers de leurs appariements : tous les $I_i(f_i, g_i)$, puisque la loi ne consiste qu'en cette régularité. Or la classe de régularité composée par les $I_i(f_i, g_i)$ n'est pas humienne, parce qu'elle ne survient pas sur ces faits mais les constitue. Chaque $I_i(f_i, g_i)$ *est* essentiellement membre de cette classe parce qu'il n'existe distinctement des autres que comme membre différent de la même classe de variation concomitante qu'eux.

Si on veut se représenter une loi par une courbe dans un espace dont les dimensions sont les propriétés appariées, alors une instance de la loi est un point de cette courbe. Dans ce cas, les divers points de la courbe ne sont distincts *qu'en tant que* points différents de la même courbe. En particulier, nous n'admettons pas dans cette ontologie que deux particuliers qui sont instances de la loi occupent le même point de la courbe, c'est-à-dire soient le même appariement $I_i(f_i, g_i)$. Si deux particuliers sont un seul et même cas particulier $I_i(f_i, g_i)$ de la loi reliant F et G, alors ils sont un seul particulier. Et si deux particuliers sont bel et bien deux existences distinctes, alors ils sont deux appariements différents $I_i(f_i, g_i)$ et $I_j(f_j, g_j)$ au sein de la loi L. En somme, des instances de la même loi ne peuvent pas différer par *d'autres* aspects que les propriétés reliées dans cette loi.

4.2.3. Les relations entre la loi et ses instances : fondation et implication d'existence.

Nous pouvons maintenant expliquer pourquoi le régularisme redevient une solution intéressante et satisfaisante au problème de l'induction. En effet, notre régularisme mathématique nous permet de mettre au jour deux relations particulièrement intéressantes entre une loi et ses instances. Il y a d'abord la relation de fondation entre la loi et chacune de ses instances, qui sont le cas en vertu seulement de l'existence de la loi. Mais il y a aussi une relation inverse entre chaque instance et leur loi, qui est une conséquence plus directe de la remise en cause de la thèse de l'indifférence humienne. En effet, on pourra dorénavant dire qu'en raison de ce *qu'est*, ontologiquement, l'instance d'une loi, alors dès qu'existe un particulier qui est l'instance d'une loi, il existe une loi qui le fonde, en vertu de laquelle il est ce qu'il est. Examinons successivement ces deux relations ontologiques.

4.2.3.1.La relation de fondation nomologique.

Nous pouvons en effet satisfaire le réquisit (R3) de fondation, en expliquant comment un fait particulier est instance d'une même loi que d'autres en vertu seulement de l'existence de la loi. Pour Armstrong, cette thèse était inatteignable par le régularisme (*cf* section 4.1.2.2.). Or, maintenant que pour *certains* états de fait particuliers, que nous appelons non-humiens, appartenir à une même classe de régularité que d'autres est constitutif de ce qu'ils sont, nous pouvons lui donner tort. Mais en même temps, nous devons aussi nous assurer que nous ne sommes pas victimes de ce qui faisait échouer la théorie universaliste d'Armstrong, à savoir la régression du législateur. Nous devons pour cela garantir qu'un fait particulier *x* est bien reconnu comme « une instance de F » à laquelle doit s'appliquer la loi (ainsi que pour *y* instance de G), c'est-à-dire que les faits $F(x)$: « *x* est une instance de F » et $G(y)$: « *y* est une instance de G » sont bien fondés.

Reprenons l'exemple de la loi de Kepler : toute position du corps C (qui gravite autour du Soleil) appartient à l'ellipse E (qui a le Soleil pour l'un de ses foyers). Cette loi consiste, d'après l'ontologie développée ici, en un appariement global entre la classe des positions p_i de C et l'ellipse E, c'est-à-dire dans la classe des faits particuliers E(p_i) : « la position p_i de C appartenant à E ». Cette classe est la classe des instances de la loi, qui sont des particuliers non-humiens, et qui s'ajoutent à ce que seraient, sans la loi, les positions p_i de C : des positions spatiales purement différentes. Nous avons donc bel et bien une relation de fondation, dans la mesure où, en vertu de l'existence d'une loi appariant tout particulier qui est une position p_i de C avec l'ellipse E, dès qu'un particulier est une position p_i de C, alors il existe le fait E(p_i) qui est instance de la loi : « p_i appartenant à E ».

Formulons la relation de fondation dans le cas général. Pour qu'il y ait fondation, il faut qu'en vertu seulement de la loi L : F = αG appariant les structures F et G, pour toute paire de particulier *x* et *y*, dès que *x* est un cas f_i de F et *y* un cas g_i de G, on ait $I(x, y)$, c'est-à-dire que *x* et *y* sont appariés dans l'un des faits relationnels d'appariement $I_i(f_i, g_i)$ fixé par la loi. Tout le problème est de s'assurer que cette relation de fondation soit bien le cas, en se demandant si nous ne faisons pas en réalité, comme Armstrong, que formuler une nouvelle régularité. Si c'était le cas, alors nous ne ferions que dire que toutes les fois que pour toute paire de f_i et g_i, nous avons un fait d'appariement $I_i(f_i, g_i)$, sans expliquer en quoi cela est le cas *en vertu de* l'existence de la loi reliant F et G. Comment assurons-nous la fondation, et évitons-nous la régression du législateur ? Pour que la fondation soit le cas, il faut et il suffit que *x* soit bien reconnu comme un cas de F, et *y* comme un cas de G, pour que l'appariement global $I(x, y)$ s'applique.

Pour le comprendre, il faut se souvenir que, contrairement à la théorie des universaux d'Armstrong, notre théorie des propriétés explique en vertu de quoi différents particuliers sont des instances de la même propriété, mais ne dit pas encore comment distinguer une propriété d'une autre. En se reportant à la section 2.2.3. du chapitre III, on se souvient que grâce à la levée de l'hypothèse de la ressemblance, nous distinguons entre (1) le fondement de la commune appartenance de divers particuliers à une même classe, et (2) l'identité de cette classe, qui la distingue de toute autre classe. L'existence d'une propriété, conçue comme classe relationnellement structurée de tropes quantitatifs, fonde le fait que ces divers particuliers appartiennent à la même classe. Et à la suite de Tooley (*cf* section 1.4.4. du présent chapitre), nous disons que le fait d'appartenir à la classe des instances de F est distinct du fait d'appartenir à la classe des instances de H est fondé sur la différence entre les places que ces propriétés occupent dans la structure des lois de la nature. C'est la même hypothèse qui explique ici comment un particulier *x* est reconnu comme *une* instance de F (et *y* comme *une* instance de G).

Formulons ainsi la thèse de l'Identité relationnelle-nomologique des propriétés (IRN) : le particulier *x* « est une instance de la propriété F » plutôt que de la propriété H si et seulement s'il compose avec *y* une instance d'une loi et que *y* est une instance de la propriété G :

(IRN) $\forall x$, $F(x)$ *si et seulement si* $\exists y$ *tel que* $I_L(x, y)$ *et* $G(y)$.

Comment donc garantir l'obtention de la relation de fondation ? Le fait $F(x)$ qu'un particulier *x* est bien une instance de F est maintenant garanti par le fait qu'il est instance de la même propriété que d'autres (avec lesquels il est en variations quantitatives) et que tous globalement, ils sont appariés avec d'autres particuliers qui sont instances de G par la loi L. Autrement dit, *x* est instance de F plutôt que de H, parce qu'il est membre d'une classe identifiée comme la classe des instances de F par son appariement dans la loi L avec la classe des instances de G. Ainsi, la loi comme fait global et régulier d'appariement entre deux classes de particuliers fait exactement tout le travail : comme appariement global des classes de F et de G, elle fonde le fait que deux particuliers *x* et *y* sont des instances f_i et g_i de F et de G *et* donc l'existence du fait particulier d'appariement $I_i(f_i, g_i)$.

Nous pensons donc avoir satisfait le réquisit de fondation (R3). Mais pour montrer précisément en quoi il permet de fonder la possibilité de l'induction, il est utile de présenter le même fait de fondation mais en quelque sorte inversé : non plus la relation par laquelle différents particuliers existent et sont instances de la même loi en vertu de l'existence de cette loi, mais la relation par laquelle étant donné ce *qu'est* un particulier, qui est instance de la même loi que d'autre, il existe une loi qui les gouverne.

4.2.3.2.La relation inverse d'implication du fondement.

En effet, si l'existence d'une loi fonde les faits particuliers qui sont ses instances, alors on peut dire qu'inversement, un fait particulier, s'il correspond à l'ontologie des instances de loi, « est fondé » par une loi. La relation « être fondé par » est intéressante, parce que si elle est le cas, alors elle implique l'existence du fondement. On pourra alors dire qu'un état de fait qui est instance d'une loi implique l'existence d'une loi comme son fondement. Montrons premièrement que cette relation est bien le cas dans l'ontologie proposée, avant d'expliquer son utilité pour fonder la possibilité de l'induction.

Le fait que cette relation « être fondé par une loi » soit bien le cas est une conséquence du caractère non-humien des particuliers que nous considérons comme instances d'une loi. Cette conséquence nous permet de contredire le plus fortement la thèse de l'indifférence humienne, en expliquant qu'étant donné l'existence de *certains* particuliers (non-humiens), alors il existe une régularité à laquelle ils appartiennent. De plus, comme nous soutenons ici une forme de régularisme, qui identifie la loi à cette régularité, alors c'est du même coup la thèse de la survenance humienne qui est contredite : l'existence d'une loi ne survient pas sur la totalité des faits particuliers, mais l'existence d'un seul d'entre eux *suffit* à impliquer l'existence d'une loi comme le fondement de tous.

On vérifie alors simplement que c'est bien le cas avec l'ontologie proposée pour les instances de loi. Si un état de fait particulier est du type $I_i(f_i, g_i)$, et qu'il apparie deux particuliers f_i et g_i qui

correspondent à l'ontologie DVQ des propriétés, alors la régularité composée par l'ensemble des $I_i(f_i, g_i)$ est non-humienne. En effet, un seul fait particulier $I_i(f_i, g_i)$ consiste dans le fait d'apparier une instance de F et une instance de G au sein d'un appariement global (la loi) de toutes les instances de F et de G. On se souvient (section 3.2.1.) que le caractère de contrainte globale de la loi vient du fait que tout particulier f_i (et g_i) est une détermination relationnelle de F (et de G), c'est-à-dire ne consiste qu'en une place au sein de la structure relationnelle de toutes les instances de F (et de G). Ainsi, ce *qu'est* le fait $I_i(f_i, g_i)$ implique l'existence d'un appariement global des propriétés F et G, c'est-à-dire la loi.

On devine alors l'importance de cette conclusion pour la possibilité de l'induction. Si un fait particulier d'appariement $I_i(f_i, g_i)$ fait partie de l'expérience et est décrit, alors même sans avoir observé l'ensemble des autres faits $I_j(f_j, g_j)$ contenus dans la loi, on peut en inférer que ce fait observé appartient à une même classe de régularité que des faits non-observés, et donc *qu'il existe* une classe de régularité composée de ces faits non-observés, c'est-à-dire une loi. Toutefois, deux précisions s'imposent pour qu'on ne croit pas qu'on propose ici une solution à l'emporte-pièce du problème de l'induction.

La première précision concerne la relation d'implication « être fondé » par une loi. Cette relation n'est pas une détermination, car l'existence du fait particulier $I_j(f_j, g_j)$ n'implique pas l'existence d'une loi *déterminée*. Comme être instance d'une même loi que d'autres faits particuliers fait partie de *ce qu'il est*, son existence seule il implique l'existence *d'une* loi comme son fondement, mais pas l'existence de *cette* loi plutôt que de telle autre loi. Seule la conjonction de *toutes* ses instances impliquerait que ce soit cette loi plutôt que cette autre. Or, dans un contexte épistémologique d'induction scientifique, nous n'observons jamais toutes les instances d'une loi, et nous ne disons donc pas que la connaissance d'une seule suffit à déterminer *de quelle loi* elle est l'instance. Au contraire, il est largement suffisant pour fonder la possibilité de l'induction, que la connaissance d'une seule de ses instances suffit pour impliquer l'existence *d'une* loi dont elle est une instance et qu'il faut découvrir. Cette conclusion est donc consistante avec le postulat épistémologique déjà formulé à la section 4.1.2.2., selon lequel les physiciens ne cherchent pas à démontrer l'existence d'une loi correspondant à une série de phénomènes observées, mais à découvrir quelle est cette loi, en présupposant qu'elle existe.

Revenons à l'exemple des positions de la planète C autour du Soleil. La loi que nous cherchons dans cette situation, est celle de sa trajectoire ; nous voulons connaître la figure spatiale que parcourt C autour de l'astre. Si les faits particuliers (par exemple ceux qui sont observés) sont du type non-humien $I_j(f_j, g_j)$, alors chacun est l'appariement d'une position spatiale p_i de C avec un point d'une figure F : F(p_i). Déterminer avec précision quelle est cette figure F, et si en particulier elle est bien l'ellipse E comme l'affirme la loi de Kepler, relève de la confirmation inductive des hypothèses. Mais pour que cette confirmation soit possible, il faut que l'ensemble des positions de C soient des cas d'une loi gouvernant géométriquement sa trajectoire. Or c'est exactement le cas si ces faits sont, comme nous le proposons, des points d'une variation concomitante : tout fait particulier F(p_i) est et existe distinctement

des autres en étant en variations avec eux, parce qu'il est un appariement de deux particuliers soumis à une contrainte globale (la loi), et qu'il est donc codéterminé avec tous les autres. Concrètement, cela signifie que le fait particulier considéré est le fait que la position p_i de C appartient à la même figure F que toutes les autres positions p_j de C. Il reste à déterminer par induction quelle est cette figure.

La seconde précision que nous devons faire concerne l'articulation de l'ontologie et de l'épistémologie. Lorsque nous disons qu'un fait particulier non-humien $I_j(f_j, g_j)$ est rencontré dans l'expérience, nous ne disons évidemment pas que nous *savons* par observation que ce fait est du type ontologique $I_j(f_j, g_j)$. Nous ne prétendons pas que cette ontologie pourrait se vérifier empiriquement, pas plus que ne le peut l'ontologie nominaliste de la particularité rejetée au chapitre II, ou l'ontologie humienne des instances de loi repoussée ici. En revanche, nous affirmons que si cette ontologie de la particularité est la bonne, alors l'induction est fondée dans sa possibilité, et le problème de Hume est résolu. Autrement dit, bien que cette solution au problème de l'induction soit encore conditionnelle, le gain tiré de tout ce chapitre est important. Nous pensons avoir montré que (comme dans le débat sur l'existence et la nature des propriétés) la question de la nature et de l'existence des lois doit être portée sur le terrain de la conception ontologique des *instances particuliers de loi*, et c'est sur ce terrain qu'il faut maintenant se battre, pour montrer que les particuliers auxquels les scientifiques ont à faire dans l'expérience sont bien ceux dont nous venons de faire l'ontologie.

Chapitre VIII : La prédiction mathématique

Le but de ce chapitre est de *confirmer* l'ontologie des lois et de leurs instances proposée au chapitre VII, en considérant qu'elle est la condition d'une certaine applicabilité des mathématiques : leur applicabilité dans la formulation des énoncés nomologiques. Pour poser en des termes d'abord intuitifs notre question directrice, il suffit de remarquer que les énoncés des lois de la nature (et les théories physiques globalement) sont généralement formulés dans un langage mathématique, et qu'il existe des cas, dans l'histoire de la physique, où l'existence d'entités inconnues est prédite à partir des propriétés formelles du langage ou de la représentation mathématiques utilisés. Nous parlerons de « prédictions mathématiques » (de faits ou entités physiques). Le problème qu'elles posent est de savoir si elles peuvent être justifiées, par un principe épistémologique général qui reconnaît aux mathématiques un rôle crucial dans ces prédictions, ou si c'est par une chance épistémique incroyable que les physiciens découvrent des entités physiques en devinant leur existence à partir des mathématiques.

Pour introduire à ce chapitre, nous devons définir d'emblée ce que nous appelons une « application *nomologique* des mathématiques ». L'application des mathématiques ne désigne ici plus, comme aux chapitres V et VI l'usage de l'arithmétique dans la formation des concepts métriques (« mathématisation des phénomènes »), mais la formulation des énoncés nomologiques dans un langage mathématique (en général non-numérique) – par exemple sous la forme d'une équation reliant des grandeurs physiques. Toutefois, par application *nomologique* des mathématiques, nous ne désignerons pas seulement l'utilisation du langage mathématique pour formuler les énoncés nomologiques. Nous cherchons surtout à capturer et conceptualiser l'idée, d'abord intuitive, que les mathématiques jouent un rôle épistémologique précis en physique : elles participent à « rendre » ces énoncés nomologiques, ou ces énoncés leur doivent en partie leur caractère nomologique – et que c'est peut-être la raison pour laquelle les mathématiques sont si utiles, voire indispensables, en physique. Mais que signifie ici « nomologique » ? Et comment la formulation mathématique des énoncés nomologiques serait-elle essentielle à leur caractère nomologique ?

Nous prenons l'adjectif « nomologique » en un sens non seulement sémantique (l'énoncé nomologique *désigne* une loi de la nature) mais aussi et surtout épistémologique. Il renvoie à l'usage et la fonction de l'énoncé dans les procédures de connaissance, et en particulier dans la *prédiction*. Nous dirons ici qu'un énoncé a un caractère nomologique *pour la prédiction* lorsqu'il peut *légitimement* servir de prémisse pour la déduction de prédictions, et nous dirons alors qu'il *fonde*[104] ces prédictions. Il faudra

[104] Le terme « fonder » ne renvoie pas du tout ici à la relation ontologique de fondation, mais a un sens seulement épistémologique. L'énoncé nomologique fonde une prédiction quand il la *justifie* (et permet de la déduire) et la *légitime* comme prédiction.

donc commencer par expliquer en détail ce que signifie « servir légitimement de prémisse » ou « fonder une prédiction » ; toute la section 1. de ce chapitre y sera consacrée. *L'applicabilité nomologique des mathématiques (à la prédiction)* désignera donc le fait que la formulation mathématique d'un énoncé est essentielle au fait que cet énoncé peut *légitimement* servir de prémisse pour le calcul de prédictions, et donc les fonde. Nous expliquerons cette définition, et présenterons des cas effectifs et concrets d'application nomologique des mathématiques à la prédiction.

C'est par ce biais que nous pourrons entrer, avec la section 2., dans le débat ouvert par Steiner, et examinée ensuite par Bangu et Ginammi, autour des « prédictions existentielles non-standards » en physique. Elles désignent les cas où *l'existence* d'une entité physique encore inconnue est prédite d'une manière qui repose en grande partie sur des considérations *mathématiques* et non physiques. La question générale que nous poserons sera celle de savoir si, et sur quoi, ce type de prédiction est fondé et légitime. Ces auteurs soutiennent globalement la thèse que ces prédictions ne sont pas fondées, car l'usage prédictif des mathématiques n'est pas justifiable par un principe général. Ils en concluent que cette application des mathématiques a une utilité seulement heuristique, dans un contexte de découverte.

Après avoir critiqué les positions de ces auteurs, nous soutiendrons au contraire que cette application des mathématiques à la prédiction est légitime, et présenterons à la section 3. ce qui permet selon nous de tenir ces prédictions mathématiques pour fondées. Enfin, nous verrons à la section 4. comment ce fondement nous permet de retrouver l'ontologie des lois défendue au chapitre VII, et de la défendre alors comme la condition ontologique de l'applicabilité nomologique des mathématiques.

1. Prédiction et application nomologique des mathématiques.

Dans cette section, nous allons expliquer précisément ce que nous entendons par « application nomologique des mathématiques », dans le cas de la prédiction, car c'est à partir de cette notion que nous aborderons ensuite les travaux de Steiner, Bangu et Ginammi.

Pour cela, il faut d'abord définir le rapport entre le caractère « nomologique » d'une énoncé et la prédiction. Nous dirons qu'un énoncé a un caractère nomologique pour une prédiction lorsqu'il peut *légitimement* servir de prémisse pour la déduction de cette prédiction, et qu'au contraire, un énoncé n'est pas nomologique lorsqu'il n'est pas légitime d'en tirer des prédictions (par déduction ou calcul). Notre usage de l'adjectif « nomologique » dans le cas de la prédiction mime celui qui en est fait dans le cas de la confirmation : depuis Goodman, et comme nous le verrons au chapitre IX, on dit qu'un énoncé est « nomologique » s'il est légitimement confirmé par ses instances, et on cherche un critère pour distinguer les énoncés nomologiques de ceux qui ne le sont pas. Dans le cas de la prédiction, aussi, nous allons chercher un critère pour distinguer des prédictions légitimes des prédictions qui ne le sont pas, et c'est en ce sens que nous dirons un énoncé nomologique s'il sert de prémisse à une prédiction légitime.

Or, si le problème du critère de nomologicité dans le cas de la confirmation existe et est bien reconnu, ce n'est pas le cas avec la prédiction : pourquoi donc serait-il nécessaire de trouver une bonne manière de distinguer les prédictions légitimes de celles qui ne le sont pas, c'est-à-dire un critère de nomologicité pour la prédiction ? C'est pourquoi nous allons prendre le temps d'introduire et de motiver ce qui est bien un nouveau problème épistémologique général, posé à l'égard de la prédiction (section 1.1.). Mais ensuite, nous n'allons pas étudier ce problème *en général*, mais simplement nous en servir pour aborder les prédictions non-standards (section 1.2.). Ce sont des prédictions qui sont formulées à partir d'une théorie, en se fondant apparemment seulement sur le formalisme mathématique de la théorie – nous les appellerons des « prédictions mathématiques ». Nous verrons qu'elles posent un problème qui est un *cas particulier* du problème général des prédictions, et donc les aborder dans ce cadre général nous sera d'une grande aide pour discuter ensuite les positions de Bangu et de Ginammi, et en comprendre les enjeux.

1.1.Le problème général de la prédiction nomologique.

Le problème que nous proposons maintenant se formule simplement : comment distinguer une « prédiction nomologique » d'une prédiction qui ne l'est pas ? Tout l'enjeu de cette section est de définir correctement « prédiction nomologique » et de montrer pourquoi nous avons besoin de cette distinction. Pour y arriver, nous allons partir d'une expérience de pensée, en imaginant un oracle capable de dire à l'avance un événement futur, et en nous demandant ce qui manque à son oracle pour être une authentique « prédiction » (section 1.1.1.). Cette fiction nous permettra de comprendre la distinction entre une prédiction qui n'est *pas nomologique* – et que nous appellerons alors simple « prévision », d'une authentique prédiction qui est nomologique. Une fois cette distinction posée, nous verrons que le modèle DN classique de la prédiction nous fournit déjà, en réalité, un critère de nomologicité pour la prédiction (section 1.1.2.).

L'expérience de pensée de l'oracle a une autre fonction. Elle nous donnera en effet *l'enjeu* d'un critère de nomologicité pour les prédictions : il s'agira de cerner la spécificité de la prédiction *scientifique* (son caractère « nomologique »), par différence avec tout autre moyen non-scientifique de formuler un énoncé sur ce qu'on ne connaît pas ou n'a jamais observé. Et c'est en effet bien cela qui sera en jeu quand nous discuterons de la prédiction mathématique : pour un auteur comme Steiner, il existe des cas de prédictions mathématiques qui sont indices d'un mode de raisonnement quasi-mystique en physique. Ce sont les cas où l'existence d'une entité physique inconnue a été prédite par les physiciens à partir des propriétés du formalisme mathématique (section 1.2.). Pour Steiner, les scientifiques feraient montre d'une foi « pythagoricienne » dans un pouvoir oraculaire qu'auraient les mathématiques de nous dévoiler les structures intimes et cachées de la réalité (section 2.1.). Bangu montre ensuite qu'effectivement, les prédictions mathématiques entrent mal dans la méthodologie

scientifique traditionnelle, et en déduit qu'il n'y a pas de principe épistémologique général pour les justifier (section 2.2.). C'est aussi cela que nous aimerions renverser, en proposant de reprendre le modèle DN comme critère de nomologicité des prédictions, et en montrant comment les prédictions mathématiques s'y conforment très bien.

1.1.1. L'expérience de pensée de l'oracle.

Imaginons un oracle capable de voir à l'avance les faits particuliers futurs. Autour de cet oracle, les gens ne savent pas d'où lui vient ce don, ni comment il fonctionne ou pourrait être reproduit. Mais on croit fermement qu'il fonctionne et que l'oracle possède effectivement cette capacité. On tient les énoncés oraculaires pour vrais. Mais ajoutons que dans ce monde fictif, toutes les conditions sont réunies pour que cette croyance soit parfaitement rationnelle, c'est-à-dire bien justifiée. Le pouvoir de l'oracle a été testé par des scientifiques, dans des circonstances très diverses et avec tous les contrôles imaginables. Il est tout bonnement impossible qu'une triche quelconque soit à l'origine du succès de ses oracles. En ce sens, l'hypothèse « L'oracle possède un don qui lui permet de voir et de dire les faits à venir » a été induite comme la meilleure et la seule explication de ces succès, et il faudrait être sceptique pour ne pas l'accepter. L'oracle sert en quelque sorte de « machine à induction », car il est rationnel de croire en la vérité de ses oracles, sans que ces énoncés ne soient les conclusions d'aucun raisonnement déductif. Les oracles sont alors rationnement tenus pour vrais par les habitants de ce monde.

Disons que ces énoncés oraculaires sont des *prévisions*, au sens où l'oracle pré-voit les événements futurs. En quel sens du terme « prédiction » peut-on dire que ces énoncés sont des prévisions, mais non des *prédictions* ? Pour les gens qui écoutent ses paroles, l'oracle « voit » l'avenir, c'est-à-dire y accède d'une façon proche de ce qu'ils appellent l'observation. Eux, qui reprennent ses paroles et croient dans la vérité des énoncés oraculaires, ne « voient » pas l'avenir mais formulent des prévisions : si l'oracle annonce que p (par exemple, qu'il y aura une bataille navale demain), eux ne « voient » pas que p, mais comme dans ce monde il est rationnel et justifié de tenir les énoncés oraculaires pour vrais, alors ils font légitimement la prévision que p.

Mais ce que ces gens n'ont pas, c'est une idée que la raison physique et objective pour laquelle p arrivera. Ils ont pourtant de bonnes raisons[105] de croire que p, au sens de justifications acceptables ; mais en croyant que p, ils ne forment pas de croyance sur la raison objective pour laquelle p arrive. Ils savent pourquoi ils croient que p, mais pas pourquoi p arrivera. On pourrait donc dire, dans un premier temps, que comme une prévision, une prédiction porte sur un fait non-observé, et est justifiée par de

[105] Le mot « raison » présente à ce titre une ambiguïté formidable : il peut désigner à la fois, en un sens subjectif, les raisons de croire, c'est-à-dire les justifications que l'on se donne et que l'on peut partager, et en un sens objectif, les raisons pour lesquelles un fait se produit, comme sa cause, par exemple.

bonnes raisons de la croire vraie, mais que, à la différence de la prévision, les bonnes raisons de tenir une prédiction pour vraie concernent les raisons physiques objectives pour lesquelles le fait prédit arrive.

Ajoutons un élément qui permettra de mieux comprendre sur quoi précisément porte la distinction. L'oracle produit des énoncés oraculaires non seulement crédibles ou acceptables, mais aussi et surtout *vrais simpliciter*, puisque dans ce monde, il possède effectivement cette capacité, et que tout ce qu'il prévoit arrivera bel et bien. Par conséquent, les prévisions qui reprennent ses énoncés oraculaires sont également vraies. On peut donc dire qu'en écoutant l'oracle et en formulant ces prévisions, les gens ont une *connaissance* de l'avenir, au sens où ils forment des croyances *vraies*, partagées et rationnellement justifiée sur les événements futurs. Bien sûr, ce monde n'est pas le nôtre ; mais dans le monde fictif, l'hypothèse que « l'oracle possède effectivement la capacité de voir l'avenir » est l'explication la meilleure et la plus justifiée de tous les succès déjà rencontrés. Donc les habitant de ce monde fictif *connaissent* l'avenir en écoutant l'oracle, puisqu'ils forment un série de croyances vraies et justifiées concernant l'avenir.

Mais – et c'est la différence cruciale : lorsqu'on fait une *prédiction* vraie, on ne sait pas seulement *que* le fait prédit va arriver, ni *pourquoi* on le croit, mais on sait aussi *pourquoi le fait prédit arriver*. Plus précisément, la justification de la croyance en la vérité de la prédiction est la connaissance de la raison physique objective du fait prédit. Ce qui distingue une prédiction vraie d'une prévision vraie est de nature épistémologique : parmi les bonnes raisons de tenir une *prédiction* pour vraie, il y a une croyance vraie portant sur la raison physique et objective du fait prédit. Nous appelons alors « énoncé nomologique » (pour une prédiction) cet ingrédient épistémologique supplémentaire qui permet de la distinguer de la prévision. Nous dirons alors que, à la différence de la prévision, la prédiction est « nomologiquement fondée », au sens où elle est justifiée sur un énoncé nomologique.

Revenons maintenant à notre monde. Le problème épistémologique général de la prédiction est alors le suivant : formuler un critère pour qualifier un énoncé de nomologique, permettant de distinguer les prédictions des prévisions. Ce critère nous permettrait de justifier que les prédictions faites par les physiciens de notre monde sont bien des prédictions, c'est-à-dire sont nomologiquement fondées, et sont à ce titre différentes des prévisions faites par les habitants du monde fictif décrit au-dessus. Dans la prochaine section, nous allons montrer qu'un tel critère existe, et qu'il est donné par une interprétation réaliste du modèle Déductif-Nomologique de la prédiction. Ensuite, nous nous servirons de ce critère pour traiter du cas particulier des prédictions mathématiques, et montrer qu'elles sont nomologiquement fondées. Alors qu'on pourrait croire, comme Steiner semble le penser, qu'en faisant ces prédictions, les scientifiques font un usage quasi-oraculaire des formalismes mathématiques, nous voulons montrer que ce sont d'authentiques prédictions fondées sur des énoncés « nomologiques ».

1.1.2. Le modèle DN de la prédiction.

Le modèle Déductif-Nomologique (DN) proposé par (Hempel, 1965) nous fournit à notre avis un bon critère de nomologicité des prédictions, relativement bien accepté dans la mesure où il n'y a pas, à notre connaissance, pas de modèle concurrent de la prédiction (Barret & Stanford, 2006). D'après ce modèle, un énoncé concernant un fait particulier est une prédiction légitime si et seulement s'il est la conclusion d'un raisonnement déductif de la forme suivante :

(1) $L_1 \wedge L_2 \wedge \ldots \wedge L_k$
(2) $C_1 \wedge C_2 \wedge \ldots \wedge C_k$
(3) Donc : E

Dans ce raisonnement, les L_i sont des énoncés de lois de la nature et les C_i portent sur les circonstances particulières ou « conditions initiales ». La conséquence E est alors déduite de l'application des L_i aux C_i. D'après ce modèle, une prédiction authentique et légitime doit être *déduite*, et donc le fondement de la prédiction est déductif. Mais une prédiction n'est pas le résultat de n'importe quelle déduction. Elle doit surtout être tirée de l'énoncé de lois de la nature. Une prédiction est légitime si elle est déductivement fondée sur des énoncés de lois que nous avons de bonnes raisons de tenir pour vrais. Le modèle de Hempel nous fournit donc un critère pour qualifier une prédiction de « nomologique » et bien fondée : elle doit être fondée déductivement sur des énoncés de lois de la nature, qui représentent à la fois la raison qu'on a de la croire vrai (en prémisse), mais qui dénotent en même temps ce qui est la raison du fait prédit, à savoir une loi de la nature. Les énoncés qui fondent nos prédictions sont donc « nomologiques » dans deux sens distincts : au sens épistémologique, ils justifient des prédictions authentiques et légitimes, et au sens sémantique, ils les justifient en dénotant des lois de la nature dont les faits prédits sont les instances. Le modèle de Hempel, tel que nous l'interprétons, donnent bien un critère de nomologicité pour les prédictions : il permet de dire que ces énoncés sont nomologiques dans le premier sens parce qu'ils sont nomologiques dans le second sens.

Il apparaît clairement que nous faisons une interprétation *réaliste* du modèle DN, dans la mesure où nous disons que d'après lui les énoncés L_i dénotent des lois de la nature, entendues comme des aspects de la réalité ; il ne s'agit pas d'attribuer à Hempel ce réalisme. Mais ce réalisme peut se justifier. On peut montrer qu'une position antiréaliste sur la signification des énoncés nomologiques ne peut pas utiliser le modèle DN comme critère pour des prédictions légitimes, car il ne peut plus distinguer les prédictions des prévisions et répondre au défi posé par l'expérience de pensée de l'oracle.

Pour le montrer, décrivons une approche antiréaliste des énoncés nomologiques, que peut-être personne ne défend tant elle est caricaturale et entièrement instrumentaliste. Ces énoncés ne désigneraient rien dans la réalité qui seraient des « lois de la nature », mais sont dits « nomologiques »

seulement en raison du rôle qu'ils jouent dans un système déductif (une théorie physique) : ce sont les énoncés qui parviennent au meilleur équilibre entre la *force* déductive, c'est-à-dire la quantité de théorèmes (y compris des énoncés conditionnels portant sur des faits empiriques particuliers) qu'on peut en déduire, et la *simplicité* du système. On identifie les énoncés nomologiques à des formules finies et les plus courtes possibles qui, appliquées à des circonstances particulières, permettent de déduire des conséquences empiriques nombreuses. L'ensemble de ces énoncés « nomologiques » ne décrit pas la structure nomique de la réalité, mais n'est qu'un formidable instrument de prédiction[106].

Mais justement, pourrait-on parler de « prédictions » ? Les énoncés portant sur des faits particuliers peuvent bien être *déduits* de ce système d'énoncés, et justifiés par eux. En ce sens, le modèle DN s'y applique très bien, et légitimerait qu'on parle de prédictions. Mais ne sont-ils pas plutôt des prévisions, analogues en cela aux oracles de notre expérience de pensée ? Un énoncé est une prédiction et non prévision si nos justifications, et les raisons que nous avons d'y croire disent *pourquoi* ce qui est prédit est le cas. Or un système déductif qui parvient à un équilibre satisfaisant entre puissance déductive et simplicité peut fonctionner aussi bien qu'on le veuille, il reste un instrument ou une machine à prévisions, analogue à un oracle, tant qu'on ne sait pas pourquoi il fonctionne si bien. Donc si nous n'interprétons « nomologique » dans un sens un minimum réaliste, alors le modèle DN ne permet plus de faire la distinction entre les prédictions et les prévisions. C'est pourquoi l'interprétation réaliste de DN nous semble indispensable : il faut croire que les énoncés L_i dénotent des aspects de la réalité appelés « lois de la nature » (peu importe encore l'ontologie qu'on en donne), pour qu'il soit un critère de distinction entre les prédictions et les prévisions.

Ainsi, nous avons posé le problème général des prédictions (dire quel est le fondement de leur légitimité en les distinguant des prévisions), et présenté rapidement la solution généralement acceptée, à savoir le modèle DN de Hempel où les L_i sont des énoncés qui dénotent des lois de la nature. Ces énoncés justifient déductivement les prédictions, mais nous fournissent aussi la raison objective et physique des faits prédits : des lois de la nature. C'est cet ingrédient qui les distingue des prévisions. Voyons maintenant comment ce problème général du caractère « nomologique » la prédiction, ainsi que la solution DN, peuvent s'appliquer au cas des prédictions mathématiques.

1.2.Les « prédictions existentielles non-standards ».

Nous appelons « prédictions mathématiques » des prédictions qui sont apparemment fondées sur le formalisme mathématique de la théorie d'où elles sont déduites, plus que sur son contenu

---

[106] On reconnaîtra peut-être l'approche non-réaliste, dite « systématique » ou « MLR », défendue par (Mill, 1866), (Ramsey, 1978) et (Lewis, 1986c). Mais nous en donnons une version volontairement caricaturale dans son instrumentalisme ou antiréalisme, car notre but n'est pas du tout de la réfuter comme position sur les lois, mais au mieux, de montrer les limites d'un antiréalisme extrême.

physique. Avant d'y venir, il est utile de commencer par la vision ordinairement reçue du rôle des mathématiques dans la prédiction : elles fournissent un langage très utile, par sa précision, sa puissance d'expression et de calcul, mais n'y sont pour rien dans le caractère « nomologique » de la prédiction (section. 1.2.1.). L'intérêt des « prédictions non-standards » est qu'elles montrent au contraire les mathématiques en train de jouer un rôle déterminant dans le caractère nomologique de la prédiction, puisqu'elle est fondée sur le formalisme ou la représentation mathématique (section 1.2.2.).

1.2.1. La vision reçue du rôle des mathématiques dans les prédictions standards.

Ce qui nous intéresse ici est le rôle des mathématiques dans les prédictions nomologiques. Dans la mesure où les mathématiques sont utilisées pour formuler des lois quantitatives dans des équations, les mathématiques sont appliquées. Dès lors, quand on déduit d'une loi mathématiquement formulée des conséquences qui sont des prédictions légitimes, en suivant le modèle DN, alors les mathématiques sont « appliquées » dans les prédictions nomologiques ; mais en un sens assez pauvre d' « appliquées » : les mathématiques sont seulement le langage dans lequel les énoncés nomologiques sont formulés, et ne sont pas essentielles à ce qui rend cet énoncé nomologique. Pour le dire simplement, ce qui permet à un énoncé d'être nomologique, au sens où il fonde à tenir ses conséquences factuelles particulières pour des prédictions vraies, est plus couramment identifié à sa forme logique :

> Les lois nécessaires aux explications déductives-nomologiques ont en commun une caractéristique fondamentale ; elles sont […] des énoncés de forme universelle. En gros, un énoncé de ce genre affirme l'existence d'une relation uniforme entre différents phénomènes empiriques et différents aspects d'un phénomène empirique. En d'autres termes, il signifie que, quand et où que ce soit, si des conditions d'un genre déterminé F sont réunies, alors de la même façon, toujours et sans exception aucune, certaines conditions d'un autre genre G sont également réunies. (Hempel, 2012, p. 85)

D'après Hempel, ce qui fait le caractère nomologique d'une énoncé (vis-à-vis des prédictions – bien que le texte l'affirme vis-à-vis des explications) est sa forme logique d'implication matérielle universellement quantifiée : « $\forall x Fx \rightarrow Gx$ ». Dans ce cadre-là, les mathématiques n'interviennent que dans la mesure où les conditions « F » et « G » sont formulées par des termes dénotant des concepts quantitatifs, comme des grandeurs physiques. L'usage des mathématiques pour formuler les énoncés nomologiques ne participe nullement à les rendre nomologiques, et la déduction d'une prédiction à partir d'une loi quantitative n'est ni plus ni moins légitime qu'à partir d'une loi qualitative.

Comme l'explique (Carnap, 1973, p. 108) les « avantages de la méthode quantitative », concernant la prédiction, sont un gain linguistique (une plus grande efficacité d'expression) et un gain computationnel (une plus grande puissance de déduction). D'après Carnap, le langage mathématique,

en nous permettant d'utiliser des grandeurs comme variables couvrant des valeurs numériques, et de poser des rapports entre ces variables, a une efficacité d'expression beaucoup plus grande qu'un langage strictement qualitatif, où il faudrait un prédicat par valeur. Le langage mathématique nous permet de dire la même chose plus simplement. Mais ce n'est que le moindre des deux avantages, et le gain est surtout computationnel :

> L'avantage le plus important de la loi quantitative, cependant, n'est pas sa concision, mais plutôt l'usage auquel elle se prête. Une fois que nous disposons d'une loi exprimée sous forme numérique, nous pouvons utiliser une partie de la logique déductive qui est particulièrement efficace et que nous appelons les mathématiques. Nous arrivons ainsi à faire des prédictions. Bien entendu, avec le langage qualitatif on pourrait se servir de la logique déductive pour arriver à des prédictions. Nous pourrions partir de la prémisse : « Ce corps sera très, très chaud » pour en tirer la prédiction : « Ce corps sera rouge vif. » Mais le cheminement serait malaisé en comparaison des puissantes méthodes de déduction que nous enseignent les mathématiques. Tel est le principal avantage de la méthode quantitative. Elle nous permet d'exprimer les lois sous forme de fonctions mathématiques qui conduisent à formuler des prédictions de la façon la plus précise et la plus efficace. (Carnap, 1973, p. 110)

Ajoutée à de plus grandes efficacité et précision d'expression, cette puissance de calcul accrue permet au langage mathématique d'être un langage privilégié pour l'expression des énoncés nomologiques. Vis-à-vis des prédictions, le calcul de conséquences observables et mesurables très précises est évidemment un gain important pour la méthode expérimentale. Mais fondamentalement, à côté de son usage dans la formulation de concepts quantitatifs et métriques, le rôle des mathématiques ne diffère pas ici de celui de toute logique déductive, et ne participe donc pas essentiellement au caractère nomologique des énoncés d'où les prédictions sont déduites. Les mathématiques sont efficaces, mais leur vertu n'est que logique, linguistique et computationnelle.

En réponse à cette vue restrictive sur l'application des mathématiques dans les prédictions, une petite littérature s'est développée qui met en lumière des cas de prédictions scientifiques, principalement en physique, où le rôle des mathématiques déborde largement ce rôle déductif ou computationnel.

1.2.2. Les prédictions existentielles non-standards.

Il existe des cas de prédiction physique qui sont dits « non-standards », précisément parce que le formalisme mathématique y est utilisé au-delà de son rôle computationnel, pour motiver, voire fonder, des prédictions (Bangu, 2012, p. 90). Ces prédictions sont en outre « existentielles » car ce n'est pas un effet physique, un événement ou un phénomène particulier qui est prédit en vertu d'une loi connue. Mais c'est l'existence d'une entité ou d'une sorte d'entités physiques qui est prédite, comme l'existence d'une nouvelle particule. Nous n'avons pas trouvé de discussion interrogeant le rapport entre ces deux points,

ou posant la question de savoir si le caractère non-standard de l'utilisation des mathématiques était lié d'une quelconque manière au caractère existentiel de ces prédictions. Nous en parlerons à la section 4.1., mais il n'y a pas de rapport évident entre les deux, dans la mesure où on peut aussi donner des exemples de prédictions non-standards *d'effets* physiques (et non d'existences)[107].

Dans cette littérature, deux cas de prédiction mathématiques sont principalement étudiés, la prédiction du positron par Dirac en 1931, et la prédiction de la particule Ω- par Gell-Mann et Ne'eman en 1962. Nous présenterons amplement ces cas dans la section 2., mais présentons d'abord les questions épistémologiques qu'ils posent. Premièrement, il s'agira de savoir si dans ces « prédictions », les aspects mathématiques sont effectivement utilisés dans un raisonnement déductif, qui aboutit à la prédiction *nomologique* d'une nouvelle entité physique sur la base de considérations purement mathématiques, ou bien si nous n'avons affaire qu'à des conjectures mathématiquement motivées, où les considérations mathématiques ont un rôle seulement heuristique. En somme, la question est d'abord de savoir si ces discussions se placent dans un contexte de découverte seulement, ou bien aussi de justification. Nous allons voir que Steiner, qui ouvre la littérature sur ce sujet, penche plutôt vers la mise en lumière du rôle heuristique des mathématiques.

Deuxièmement, et dans le cas où des raisons mathématiques devraient justifier et fonder ces prédictions, il s'agit évidemment de se demander si ces justifications sont correctes. C'est Bangu qui lance ce problème, en proposant une reconstruction déductive de ces prédictions qu'il compare avec le modèle DN. Selon lui, ces prédictions se fondent sur un principe analogique très contestable, mais sans lequel elles ne sont pas des déductions valides. D'après ce « principe de réification », comme il commence par l'appeler (Bangu, 2008), ou « principe d'identification » (Bangu, 2012) :

> Soient Γ et Γ' des éléments d'un formalisme mathématique appliqué dans un certain contexte physique. Si Γ' est mathématique similaire à Γ, alors, si Γ a une signification physique, Γ' a aussi une signification physique. (p101 livre).

Ce principe permettrait donc de fonder l'attribution à Γ' d'un référent dans la réalité physique, au motif qu'il est « mathématiquement similaire » (on lit parfois « formellement similaire ») à Γ qui en a un. Si ce principe est acceptable, alors les prédictions existentielles non-standards sont fondées, d'après la reconstruction logique qu'en donne Bangu.

(Bangu, 2012) et (Ginammi, 2016) s'accordent ensuite à juger ce principe inacceptable, en donnant des exemples où il échoue. Le principal problème de ce principe est qu'il s'applique indistinctement, et sans différence entre les cas où son application est légitime et les cas, qu'on peut

[107] Steiner donne les exemples des radiations électromagnétiques prédites par Maxwell ou de la superposition des particules Δ^0 et des neutrons, en vertu des symétries SU(2) ; voir l'appendice B de (Steiner, 1998).

imaginer facilement où elle ne l'est pas (*cf* section 3.1.). Ils concluent par conséquent que ce principe ne permet pas de formuler des prédictions scientifiques *nomologiques*. Bangu finit par reconnaître que l'usage d'un tel principe ne peut être qu'heuristique, sans accepter pour autant les mêmes conséquences que Steiner concernant la nature anthropocentrique de cette méthode de découverte. Ginammi offre de son côté une reconstruction du processus de formulation des prédictions non-standards et des découvertes qu'elles peuvent susciter, et montre qu'en s'appuyant sur une analyse plus fine du rapport entre les représentations mathématiques utilisées dans la théorie et les physiques, la méthode de découverte peut se passer d'un principe de réification trop contestable.

Dans la suite, nous allons passer en revue et examiner leurs contributions tout en motivant notre approche, différente, du problème. Tous ces auteurs perçoivent que quelque chose de crucial concernant l'application des mathématiques se joue dans ces prédictions, mais contrairement à eux, nous allons soutenir la thèse qu'il y a des prédictions mathématiques bel et bien *nomologiques*. Pour cela, nous proposerons une reconstruction non pas de la méthode de *découverte*, mais de la *justification* de ces prédictions, qui ne se fonde pas sur un tel principe général de réification, et nous expliquerons à quoi tient la différence entre les cas où de telles prédictions mathématiques sont fondées et les cas où elles ne peuvent être que des prévisions non-fondées.

2. Steiner, Bangu et Ginammi.

Cette littérature part de la façon dont les physiciens théoriques, en particulier au cours du développement des théories physiques du XXème siècle, ont parfois rendu compte du processus qui les avait amenés à découvrir de nouveaux aspects de la réalité physique. Citons par exemple Dirac :

> La méthode la plus puissante pour progresser [dans la connaissance physique] que l'on peut suggérer aujourd'hui est d'utiliser toutes les ressources des mathématiques pures, afin de parfaire et de généraliser le formalisme mathématique qui est à la base de la physique théorique, et après chaque pas dans cette direction, d'essayer d'interpréter les nouveaux aspects mathématiques en termes d'entités physiques. (Dirac, 1931, p. 60)

La « méthode » dont parle ici Dirac, et qu'il applique avec succès au cas du positron, est présentée comme une méthode de découverte en physique théorique. Ce qui la distingue d'autres façons de forger des hypothèses théoriques est la place fondamentale qu'elle fait aux mathématiques appliquées dans une théorie physique déjà existante, car elle consiste à essayer de prêter une signification physique à un élément mathématique jusqu'ici non interprété dans cette théorie. Pour le dire de façon encore imprécise, la prédiction produite par cette méthode prend alors la forme existentielle suivante : « Il y a quelque chose dans la réalité physique qui correspond à cet élément mathématique ». Voyons

maintenant ce que font Steiner (2.1.), Bangu (2.2.) et Ginammi (2.3.) de ces cas de prédictions mathématiques.

2.1.Steiner et les « analogies pythagoriciennes ».

Selon (Steiner, 1998), l'existence et surtout la multiplication de ces épisodes de « prédiction mathématique » dans la physique récente permettent de mettre en lumière un rôle heuristique des mathématiques. Depuis un tournant qu'il date aux alentours de 1850[108], les plus grandes découvertes en physique sont faites sur la base de ce que Steiner appelle des « analogies » purement mathématiques (p. 59-60). Il est difficile de savoir ce que Steiner appelle « analogie » (car il ne définit jamais ce qui est le terme principal de son livre) et en particulier si ces analogies sont des règles de raisonnement ou bien des instruments de découverte. Mais pour souligner qu'elles ne peuvent être exprimées « par aucun autre langage que celui des mathématiques » (p. 3), il les appelle des « analogies pythagoriciennes ». Bien qu'il emploie souvent le terme de « raisonnement », il apparaît clairement que la thèse qu'il défend concerne avant tout une nouvelle méthode de *découverte* en physique. Commençons par examiner ce qu'on peut entendre par analogies pythagoriciennes avant de nous tourner vers la thèse de Steiner.

2.1.1. Le sens de l'« analogie » pythagoricienne.

Il est d'abord clair que Steiner ne prend pas le terme « analogie » en son sens rigoureux, comme identité de deux rapports, et impliquant donc quatre termes. A la lecture de son texte, se dégage l'impression qu'il faut entendre par « analogie » entre deux éléments une forme de similarité au sein d'une classification commune (« *scheme of classifying* » ou « *taxonomy* » p. 53) : deux éléments sont « analogiques » s'ils partagent des propriétés caractéristiques des membres d'une même classe. Par exemple, un système masse-ressort est un cas d'oscillation harmonique : si la masse est écartée de sa position d'équilibre, et relâchée sans vitesse initiale, alors elle décrit un mouvement de « va-et-vient » oscillant autour de sa position d'équilibre. L'équation de ce mouvement en fonction du temps décrit une sinusoïdale. Or on s'aperçoit qu'un tout autre type de phénomène est bien décrit par une équation de sinusoïdale : l'évolution de la tension aux bornes d'un condensateur, mis en circuit avec une bobine (circuit LC). Par analogie, on peut alors chercher si, dans le phénomène électrique, il n'y a pas une

[108] Son premier exemple historique est la « prédiction » par Maxwell en 1873 des radiations électromagnétiques, qui ne s'appuie selon le récit de Steiner que sur des considérations purement mathématiques à propos de la loi qu'il a découverte pour le champ magnétique généré par un courant électrique. Cette équation admet des solutions qui, physiquement, correspondent à un courant électrique nul. Maxwell a néanmoins prêté une signification physique à ces solutions, et « prédit » l'existence des radiations électromagnétiques. Tout le travail de Steiner est d'expliquer le sens qu'on peut donner à ce « néanmoins » : malgré quoi, ou contre quelle épistémologie de la découverte, est-il utile voire nécessaire de défendre cette méthode de prédiction mathématique ?

propriété physique analogue à la raideur du ressort dans le phénomène mécanique. On découvrirait alors que c'est la capacité du condensateur qui joue le « même rôle » (plus précisément, l'inverse de la capacité du condensateur). Selon cette méthode de découverte, on s'appuie sur une analogie entre certaines caractéristiques *physiques* de deux phénomènes, en vertu de laquelle ils appartiennent à une même classe, pour chercher des caractéristiques inconnues.

On peut se poser si le caractère « oscillatoire » d'un phénomène est strictement physique ou bien déjà en partie mathématique. En effet, où le propre de la théorie transposée analogiquement au nouveau phénomène est de le décrire comme un « oscillateur harmonique », c'est-à-dire de lui appliquer des concepts mathématiques bien précis (par exemple celui de fonction sinusoïdale). Mais cette question touche à ce que Steiner appelle l'applicabilité *descriptive* des mathématiques, qui concerne la pertinence ou l'efficacité des concepts mathématiques (ici celui d'une fonction précise) pour décrire les propriétés des systèmes physiques, et il n'y a pour lui rien d'extraordinaire ou de particulièrement mystérieux dans cette application (p. 24 et sq.). Il s'agit simplement pour lui d'une mise en correspondance entre un concept ou une propriété mathématique avec une propriété physique. Il donne l'exemple de l'addition, relation *mathématique* qui décrit les relations *physiques* de concaténation qu'ont entre elles différentes masses, et la propriété d'extensivité de cette grandeur (p. 28). Nous reviendrons à cette « applicabilité descriptive » des mathématiques, qui mérite plus d'attention que ne l'admet Steiner (section 4.1.1.).

Admettons qu'il existe des découvertes par analogie entre des propriétés *physiques* des phénomènes. Le propre de la nouvelle méthode qu'il étudie est de s'appuyer sur des analogies entre éléments *mathématiques* (deux éléments au sein d'une structure mathématique, deux solutions d'une même équation, deux équations, etc.) :

> Par « analogie pythagoricienne » au temps t, je veux dire une analogie mathématique entre des lois physiques (ou d'autres description) qui n'est pas paraphrasable au temps t dans un langage non-mathématique[109]. (Steiner, 1998, p. 54)

Steiner étudie deux cas d'analogies pythagoriciennes, celles entre deux solutions d'une même équation, et celles fondées sur des symétries entre éléments d'une classe structurée par un groupe de transformation. Nous considérons ici le premier cas en détails, et indiquerons seulement les grandes lignes du second, qui sera examiné à la section suivante. Il y a pour Steiner une analogie pythagoricienne entre f et g lorsque f et g sont tous les deux solutions d'une même équation E alors qu'ils sont physiquement très différents, ou « disanalogues » (« *disanalogous* » p. 76-77). Ce qu'il faut comprendre par cette dissemblance physique, c'est qu'il est parfaitement accepté dans un cadre théorique d'arrière-

[109] Steiner distingue les analogies pythagoriciennes des analogies formalistes. Les premières – les seules que nous considérons ici, portent sur des éléments mathématiques qui reçoivent ou peuvent recevoir une interprétation physique, tandis que les analogies formalistes portent sur les aspects syntaxiques voire notationnels du langage mathématique utilisé.

plan que la solution *f* a une interprétation physique, alors que ce n'est pas le cas de *g*. Bien qu'aucune lois physiques connues interdiraient qu'existât quelque chose dans la réalité physique qui correspondrait à *g*, le cadre théorique à un moment t nous pousse à croire que *g* ne correspond à rien de réel.

2.1.2. La prédiction du positron par Dirac.

L'exemple de la découverte/prédiction du positron par Dirac permet de mettre à l'épreuve ce schéma. En 1928, Dirac réussit à formuler l'équation décrivant le comportement de l'électron en incorporant la relativité restreinte dans l'équation « psi » de Schrödinger[110]. Pour y parvenir, il remplace les coefficients de l'équation par des matrices 4x4 de coefficients. Par conséquent, au lieu d'une seule fonction psi, il propose une matrice de quatre fonctions (un « spineur »), qui admet alors quatre solutions. Deux d'entre elles reçoivent une interprétation physique naturelle : elles correspondent à une particule de charge négative, avec une énergie cinétique positive, qui peut avoir un spin positif ou un spin négatif. Mais les deux autres font figure d'étrangetés physiques : elles correspondraient à des particules (de spins positifs et négatifs) chargées *positivement* mais dotées d'une énergie cinétique *négative*, de telle sorte qu'elles se comporteraient comme des particules de charge négative (des électrons « normaux »). En 1928, Dirac ne leur cherche pas d'interprétation physique, et annonce seulement que « la moitié des solutions doit être rejetée puisqu'elle fait référence à une charge +e de l'électron » (p. 618). Mais en 1930, il revient sur cette position, et il faut citer en entier ses réflexions qui nous permettent de discuter la lecture qu'en fait Steiner :

> La théorie quantique de la relativité, pour un électron qui se déplace dans un champ électromagnétique donné, prédit avec beaucoup de succès les propriétés de spin de l'électron. Mais elle implique cependant une sérieuse difficulté, qui montre que des modifications fondamentales sont encore nécessaires avant de pouvoir la regarder comme une description exacte de la nature. Cette difficulté vient du fait que l'équation d'onde […] possède, en plus des solutions désirées, pour lesquelles l'énergie cinétique de l'électron est positive, un nombre égal de solutions non-désirées avec une énergie cinétique négative de l'électron, ce qui semble n'avoir aucune signification physique. […] La difficulté n'est pas spécifique à la théorie quantique de l'électron, mais est une difficulté générale qui apparaît dans toutes les théories impliquant la relativité, et même dans la théorie classique. Elle apparaît à cause du fait, fondamental, que dans l'équation de relativité Hamiltonienne de la théorie classique, le signe de $W + eA_0$ est ambigu. […] La difficulté n'est pas importante, dans la théorie classique, puisque les variables dynamiques doivent toujours y varier de façon continue, donc il y a une nette distinction entre les solutions des équations. Du mouvement pour lesquelles $W + eA_0 \geq mc^2$ et celles pour lesquelles $W + eA_0 \leq -mc^2$, et on peut

[110] (Dirac, 1928). Plus précisément, Dirac trouve une équation plus générale que celle de Schrödinger en ce qu'elle est de premier ordre non seulement pour le temps, mais aussi pour l'espace, ce qui lui permet de restaurer la symétrie de l'espace-temps nécessaire pour une équation relativiste, invariante par les transformations du groupe de Lorentz.

> simplement ignorer les secondes. Mais on ne peut pas venir aussi facilement à bout de la difficulté dans la théorie quantique. On peut certes, dans le cas de champs magnétiques stables, tracer une distinction entre les solutions avec E positive et celles avec E négative, et affirmer que seules les premières ont une signification physique […], mais si on applique une perturbation sur le système, elle peut causer des transitions d'un type d'état à l'autre. Et dans le cas général d'un champ magnétique aux variations arbitraires, aucune séparation claire et nette n'est possible entre les solutions de l'équation d'onde qui se réfèrent à des énergies positives, et celles qui se réfèrent aux négatives. Qui plus est, dans la théorie exacte, où le champ magnétique est aussi sujet aux lois quantiques, des transitions peuvent se produire et l'électron passer d'une énergie positive à une négative, même en l'absence de champ extérieur, car l'énergie supplémentaire (au moins $2mc^2$) est spontanément émises sous forme de radiation. […] Nous ne pouvons donc pas ignorer les états d'énergie négative sans donner jour à des ambiguïtés dans l'interprétation de la théorie. (Dirac, 1930, p. 361)

Nous allons revenir sur les raisons précises pour lesquelles Dirac justifie la recherche d'une interprétation physique pour ces solutions mathématiques à énergie négative. Par la suite, Dirac fait l'hypothèse que les états d'énergie négative existent bel et bien, et qu'en accord avec le principe d'exclusion de Pauli, ils doivent être occupés par des particules, formant une « mer d'électrons » en état d'énergie négative. Il imagine ensuite que l'un de ces électrons peut, si suffisamment énergie lui est apportée, quitter cet état pour monter à un état d'énergie positif, laissant derrière lui un « trou » (« *hole* ») dans la mer d'électrons négatifs. Ce trou, comme absence de charge négative, apparaîtrait comme ayant une charge positive et étant placé dans un état d'énergie négative. Dirac propose alors d'identifier ce trou à la seule autre particule connue à l'époque, à savoir le proton, mais il a été montré très vite que le proton possédait une masse trop supérieure à celle de l'électron, et une stabilité trop grande[111], pour remplir le rôle. Dirac finit donc par proposer l'existence d'une nouvelle particule :

> En suivant Oppenheimer, on peut supposer que dans le monde tel qu'on le connaît, tous, et non seulement presque tous, les états d'énergie négative pour les électrons sont occupés. Un trou, s'il en était un, serait une nouvelle sorte de particule, inconnue de la physique expérimentale, qui a la même masse que l'électron et une charge opposée à la sienne. Nous pouvons appeler une telle particule un anti-électron. (Dirac, 1931, p. 60)

Voici maintenant comment nous pourrions faire entrer cette découverte dans le schéma de Steiner. L'équation *E* est identifiée à la matrice d'équations formulées par Dirac en 1928, et ses quatre solutions sont f_1, f_2, g_1 et g_2. Les solutions *f* correspondent à des états d'énergie cinétique positifs, et correspondent naturellement aux électrons tels qu'ils sont déjà décrits par la théorie disponible. Les

[111] Dirac explique que d'après la théorie disponible à l'époque, on pouvait s'attendre à ce qu'un électron et ce « trou » entrant en collision s'annihilent, selon une probabilité en tout cas trop forte pour que ce « trou » corresponde à un proton.

solutions *g* en revanche correspondent à des états d'énergie négatifs, difficilement interprétables dans cette théorie. Nous avons alors :

(A) Une analogie mathématique entre les *f* et les *g*, puisqu'ils sont tous des solutions de la même équation *E*.
(B) Une « disanalogie » physique entre les *f* et les *g*, dans la mesure où ils correspondent ou correspondraient à des états d'énergie de signes opposés.

Ensuite, selon Steiner, l'analogie (A) fut considérée par Dirac comme suffisante pour motiver la conjecture selon laquelle ces solutions *g* correspondent elles aussi à des objets physiques, *malgré* la disanalogie physique avec les solutions à énergie positive. Selon Steiner, « l'analogie devient pythagoricienne si *f* et *g* sont physiquement disanalogues, et que donc seule l'équation les relie » (p. 77), c'est-à-dire si leur ressemblance mathématique, en tant que solutions de la même équation, est le seul fait qui permet de conjecturer l'existence de référents physiques aux solutions à énergie négative. Le fait (B) serait un obstacle surmonté par (A) et la puissance suggestive de l'analogie pythagoricienne.

Cette reconstruction du processus de découverte est pourtant critiquable. En revenant à la citation de Dirac, on s'aperçoit que la « disanalogie » physique entre les solutions *f* et les *g* joue un rôle beaucoup plus important dans la conjecture. En effet, Dirac explique que des solutions à énergie négative apparaissaient déjà dans les équations de la mécanique hamiltonienne relativiste, mais qu'on était *autorisé* à les négliger, et cela pour une raison *physique*. Le membre « $W + eA_0$ » dans l'équation représente une grandeur qui a la dimension de l'énergie, et comme les grandeurs varient de façon continue en mécanique (classique comme relativiste), il n'y a donc *aucun changement physique possible* qui correspondrait à la variation continue de cette grandeur $W + eA_0$ d'un état supérieur à mc^2 à un état inférieur à $-mc^2$, car une telle variation impliquerait l'existence d'états d'énergie intermédiaires, compris entre $-mc^2$ et mc^2, ce qui est exclu par l'équation. C'est donc en raison de l'impossibilité d'un *changement physique* qu'on a le droit d'ignorer les solutions mathématiques dérangeantes.

Or c'est précisément ce droit qui est retiré en physique quantique, où dans des conditions adéquates (dans un champ électromagnétique variable) la particule *peut* opérer une transition discontinue d'un état d'énergie à un autre, et donc sauter au-dessus du segment $]-mc^2 ; mc^2[$ des états qui ne peuvent pas être solutions de l'équation. Tout l'effort argumentatif de Dirac, pour motiver sa prédiction existentielle, vise à montrer qu'on n'a plus le droit d'ignorer ces solutions car que le changement physique de l'une à l'autre est *physiquement* possible.

2.1.3. Le but de Steiner : sa thèse anthropocentriste sur la découverte.

Par conséquent, Steiner ne semble pas avoir tort en voyant une analogie pythagoricienne à l'origine de ces prédictions, mais il ignore les arguments physiques qui permettent au physicien de débloquer l'analogie. A lire Dirac, l'analogie pythagoricienne devrait aussi être valable dans le cas hamiltonien classique, mais elle est bloquée par une impossibilité physique, et le physicien a donc de bonnes raisons physiques de ne pas prêter de signification à certaines solutions de l'équation. Mais dès que la différence quantitative entre ces solutions (ici, l'opposition positif/négatif) correspond à un changement physique possible, le physicien semble obligé de leur chercher une signification à toutes. Steiner a donc tort, dans le cas historique précis de cette prédiction mathématique en tout cas, d'affirmer qu'elle ne repose *que* sur les aspects mathématiques, et malgré la « disanalogie » physique ; car c'est plutôt en vertu de cette disanalogie physique, et selon qu'elle décrit un changement physique possible ou impossible, que l'analogie pythagoricienne a de la valeur et s'applique légitimement.

Steiner étudie une foule d'autres cas de découvertes physiques qu'il analyse comme des exemples d'analogie pythagoricienne. L'autre grand domaine d'analogies qui nous intéressera concerne les classifications des hadrons qui, dans la physique des particules, sont fondées sur des symétries mathématiques décrites dans des représentations irréductibles de groupes SU(2) et SU(3). Nous y reviendrons dans la prochaine section ; concluons maintenant sur Steiner. Au-delà de sa reconstruction contestable du processus de découverte, où il occulte le rôle des raisons physiques dans la prédiction, Steiner n'est de toute manière pas intéressé par la justification logique de ces prédictions, et sa thèse concerne essentiellement la méthode de découverte : « un système de classification », formé des rapports d'analogie mathématique, « est donc simplement un cadre permettant de deviner » (« *a framework for guessing* », p. 74), et il insiste sur le fait qu'un tel cadre n'est jamais une condition suffisante pour que la conjecture s'avère effectivement une découverte. Les analogies pythagoriciennes s'imposent seulement comme des voies de découverte de plus en plus fréquentes, et peut-être finalement nécessaires[112]. En réalité, le but de Steiner est surtout de monter un dossier solide pour défendre sa vision de la découverte en physique, qu'il juge « anthropocentriste », contre l'approche « naturaliste ».

Sa thèse est que les méthodes consciemment ou inconsciemment mises en œuvre par les physiciens pour découvrir de nouveaux aspects de la réalité sont de nature anthropocentristes et non naturalistes, c'est-à-dire suivent des standards d'ordre, de beauté et de simplicité entièrement relatifs à l'esprit humain, et qui sont particulièrement satisfaits par notre langage mathématique. S'ils étudient la nature par des ficelles mathématiques, c'est que les physiciens ont donc une sorte d'attitude

---

[112] Pour Dirac, les défis théoriques si fondamentaux que doit relever la physique impliqueront des changements conceptuels si importants que « l'intelligence humain ne sera bientôt plus capable d'avoir ces nécessaires nouvelles idées en essayant directement de formuler les données expérimentales en termes mathématiques. Le théoricien de la physique du future devra donc procéder d'une manière plus indirecte » (Dirac, 1931, p. 60). Il est clair que pour Steiner l'analogie pythagoricienne nous ouvre cette voie indirecte.

anthropocentriste naturelle, qui présuppose que contrairement à ce qu'affirme le naturalisme, l'univers n'est pas « indifférent au buts et valeurs de l'humanité » (p. 55). C'est pour arriver à cette thèse concernant la méthode scientifique de découverte que Steiner analyse ces cas historiques en termes d'analogie pythagoricienne. Mais il présuppose – et ne remet pas en question – le fait que les mathématiques ne soient utilisées que de façon heuristique, comme une aide mystérieusement efficace pour deviner droit, et qu'il faut avoir le courage d'écouter :

> Des lecteurs, bien confortables, pourraient demander : pourquoi fallait-il du courage pour prédire le positron ? Fallait-il du courage pour prédire les éclipses de la Lune ? La prédiction n'est-elle pas simplement une affaire de déduction à partir des lois de la nature appliquées à des « conditions initiales » ? J'ai du nouveau pour ces lecteurs. Le terme « prédiction » en physique a connu, au cours des cent dernières années environ, un changement de signification. La prédiction, aujourd'hui, et particulièrement en physique fondamentale, renvoie à la supposition qu'un phénomène qui est mathématiquement possible existe dans la réalité – ou peut être physiquement réalisé. […] Même sans équation, les physiciens peuvent prédire des événements en utilisant les symétries. Ici, toutes les prédictions sont potentiellement du type non-déductif : « possible, dons actuel » […]. En bref, le concept de « prédiction » lui-même a été pythagorisé de part en part. Mais à l'époque de Dirac, alors, prédire le positron demandait du courage ou de la foi dans les mathématiques. (Steiner, 1998, p. 61)

Steiner soutient ici que le concept de prédiction a subi une « pythagorisation » au cours du XXème siècle, au sens où il ne signifierait plus une *déduction* à partir de lois et de conditions initiales, comme le propose le modèle DN de Hempel, mais le fait de deviner (*guessing*) ce que doit être la réalité physique à partir de ce que des analogies au sein de nos représentations mathématiques nous présentent comme possible. On voit bien qu'il s'agit de deviner des vérités physiques à partir d'une croyance dans les vertus quasi-oraculaire des mathématiques. Steiner soutient qu'une forme rationnellement acceptable de *prévision* mathématique s'est installée dans la méthode de découverte scientifique, qui n'est pas une *prédiction* au sens de nomologiquement fondée. Or il nous semble que ce diagnostic de Steiner, qu'il soit vrai, exagéré ou même faux, ne fait que motiver plus encore l'examen du fondement de ces « prédictions » mathématiques : peuvent-elles être *fondées*, dans un contexte de justification, ou bien sont-elles une démarche de même nature que celle d'un devin, les scientifiques « lisant » des prévisions physiques comme des haruspices dans les entrailles des équations mathématiques ?

2.2.Bangu et le « principe de réificiation ».

Bangu (2012) part de ces analyses, et son but final est de prendre position en faveur du naturalisme contre la thèse anthropocentriste de Steiner, dans le débat concernant la méthode de découverte. Mais avant d'y arriver, il livre une analyse intéressante du fondement déductif des

prédictions mathématiques. Il imagine que, en s'appuyant uniquement sur les propriétés mathématiques d'un formalisme ou d'une représentation, on prédise l'existence et les caractéristiques d'une nouvelle entité physique, et demande que répondre à un physicien expérimental qui demanderait : « Quels sont les fondements que nous avons de croire que (a) le monde contient effectivement une telle entité, et que (b) l'entité a ces caractéristiques physiques ? » (p. 97).

Pour mener cette analyse, Bangu commence par expliquer comment le modèle DN peut s'appliquer adéquatement aux prédictions existentielles standards (comme celles de Neptune par Leverrier, ou du neutrino par Pauli), avant de montrer qu'il ne s'applique pas aussi bien dans le cas des prédictions non-standards (comme celle de Dirac vue ci-dessus, ou celle de la particule Ω^- par Gell-Mann et Ne'eman). En cause, il pointe l'usage contestable d'un principe analogique de « réification », et en conclut que ces prédictions ne peuvent pas être tenues pour fondées. Nous allons présenter ses analyses et donner de bonnes raisons de prendre leur exact contre-pied. Contrairement à ce qu'il explique, les prédictions standards *ne* correspondent *pas* au modèle DN de *prédiction*, alors que les prédictions standards au contraire y correspondent entièrement.

2.2.1. Les prédictions existentielles standards et le modèle DN.

Pour Bangu, on peut parfaitement rendre compte des prédictions existentielles standards dans le cadre du modèle DN de prédiction, qui est aussi un modèle d'explication. Selon ce modèle, un phénomène physique particulier, ou bien l'existence d'une entité physique, sont prédits/expliqués lorsqu'ils sont déduits d'un ensemble d'énoncés de lois physiques et de conditions initiales.

2.2.1.1.Le traitement par Bangu de la prédiction de l'existence de Neptune.

Voyons comment Bangu rend alors compte de la prédiction de l'existence de Neptune par Leverrier :

> Ce modèle DN rend assez naturellement compte de ce que j'ai appelé les e-prédictions [prédictions existentielles]. Supposez qu'un certain système physique, dont on pensait auparavant qu'il obéissait à certaines lois, présente une anomalie : le système, ou une partie de lui, se comporte apparemment comme si les lois ne s'y appliquaient plus. En supposant que les mesures qui indiquent l'anomalie sont correctes, la tâche du physicien est alors de comprendre ce qu'il se passe, ou d'expliquer le comportement anormal qu'il observe. Dans le cadre du modèle DN, ceci revient à montrer comment dériver cette étrangeté d'un ensemble de lois et de certaines conditions initiales. Pour faire cette dérivation, le physicien peut faire certains changements dans les conditions initiales et conserver les lois. […] Cette option implique de réviser l'information factuelle contenue dans les conditions initiales. Cette révision consiste en général à

> leur ajouter quelque chose – et c'est cet ajout qui conduit à postuler (et donc prédire) de nouvelles entités. (Bangu, 2012, p. 98)

Tout le problème de cette analyse vient de ce que « postuler » cette nouvelle entité n'implique absolument pas la « prédire » au sens du modèle DN de prédiction. Voyons comment l'appliquer au cas de Neptune. L'anomalie vient de l'observation d'une déviation de la trajectoire d'Uranus par rapport à son chemin prédit par les lois de Newton appliquées à un ensemble de conditions initiales, comprenant les trajectoires des *k* autres planètes. Nous avons donc :

(1) L_i *(théorie newtonienne du mouvement et de la gravité)*
(2) $C_1 \wedge C_2 \wedge \ldots \wedge C_k \wedge C_S$ *(existence, propriétés et trajectoires de k planètes et existence et propriétés du soleil)*
(3) Donc : E (trajectoire E d'Uranus)

Or les observations montrent une trajectoire $E' \neq E$ d'Uranus. Cette anomalie prouve qu'il existe au moins une prémisse fausse. Après avoir jugé qu'il ne fallait considérer « que les lois de la gravitation pourraient cesser d'être rigoureuses, à la distance du soleil où circule Uranus », Leverrier envisage puis élimine plusieurs explications insatisfaisantes (résistance de l'Éther, existence d'un gros satellite autour d'Uranus, passage d'une comète à proximité de la planète). Il conclut :

> Il ne nous reste ainsi d'autre hypothèse à essayer que celle d'un corps agissant d'une manière continue sur Uranus, changeant son mouvement d'une manière très lente. Ce corps, d'après ce que nous connaissons de la constitution de notre système solaire, ne saurait être qu'une planète, encore ignorée. (Leverrier, 1846, p. 914)

Bien que Leverrier présente sa conclusion comme le résultat d'une énumération, l'hypothèse de l'existence d'une planète inconnue dans le système n'est pas inférée déductivement, par élimination de *toutes* les autres hypothèses possibles, car il ne prétend nulle part avoir recensé l'ensemble des hypothèses possibles. Il est couramment admis que son inférence conclut que cette hypothèse est la meilleure explication des perturbations observées, de telle sorte qu'en ajoutant une nouvelle condition initiale C_{k+1} : « existence et trajectoire d'une $(k+1)^{ième}$ planète », l'ensemble des lois Li et des conditions C_1 à C_{k+1} permet de dériver déductivement la trajectoire *E'* observée d'Uranus. Voici comment Bangu reconstruit cette inférence :

> Il y a donc deux fondements, sur lesquels Leverrier et Adams ont postulé leur nouvelle entité :
> (i) Si l'entité existait, alors on pourrait rendre compte de l'anomalie.

(ii) Si l'entité existait, ses caractéristiques physiques (énergie, masse, spin, etc.) doivent être telles qu'elles permettent de rendre compte de la magnitude de l'interaction physique entre l'entité hypothétique et le reste du système. Par conséquent, ces caractéristiques sont prédites par une inférence à partir de ces interactions. (Bangu, 2012, p. 100)

Pour le point (ii), la thèse de Bangu fonctionne bien, dans la mesure où des prédictions concernant la nouvelle planète Neptune peuvent effectivement être analysées selon le modèle DN :

(1) L_i *(théorie newtonienne du mouvement et de la gravité)*

(2) $C1 \wedge C2 \wedge \ldots \wedge C_k \wedge C_S \wedge E_{k+1} \wedge E'$ *(existence, propriétés et trajectoire de k planètes, existence et propriétés du Soleil, existence d'une* $(k+1)^{ième}$ *planète inconnue, trajectoire E' observée d'Uranus)*

(3) Donc : C_{k+1} *(trajectoire et propriétés calculées de la* $(k+1)^{ième}$ *planète)*

Si c'était ainsi que Bangu concevait la prédiction des *caractéristiques* et de la trajectoire de la nouvelle entité postulée, alors elle pourrait bien être reconstruite selon le modèle DN. Cependant, cette reconstruction serait insuffisante puisque l'aspect le plus important n'est pas pris en compte : l'hypothèse de *l'existence* E_{k+1} d'une $(k+1)^{ième}$ planète, qui est placée parmi les prémisses et n'est pas le résultat de l'inférence. C'est le point (i). Pourtant, Bangu en parlant d'« e-predictions » entend bien faire de l'énoncé existentiel le résultat d'une inférence. C'est pourquoi il est conduit à considérer que la prédiction répond à la logique de l'abduction ou inférence à la meilleure explication :

On peut donc analyser les e-predictions dans le cadre du modèle DN, bien que leur logique n'est pas la logique usuelle de prédictions des phénomènes. […] La logique derrière les prédictions typiques d'entités est abductive, et obéit au schéma de raisonnement appelé « inférence à la meilleure explication ». Dans ces cas, en faisant des e-prédictions, les physiciens postulent des entités dont les caractéristiques physiques sont nécessaires pour formuler la meilleure explication des anomalies observées. (Bangu, 2012, p. 98)

Or l'abduction n'est pas une forme d'inférence logiquement valide, et bien qu'aussi rationnelle qu'on le veuille, elle est une sorte d'induction et non de déduction. Il devient alors impossible de rendre compte de la « prédiction » de l'existence de Neptune au sein du modèle DN, où les prédictions sont le résultat de déductions. Finalement, bien que l'hypothèse C_{k+1} : « trajectoire et propriétés calculées de la $(k+1)^{ième}$ planète » peut effectivement être prédite déductivement selon DN, Bangu considère bien que l'hypothèse entière de Leverrier (E_{k+1} + C_{k+1}) n'est pas déduite mais abduite. Elle est inférée comme la meilleure explication de l'anomalie E' observée, et entre donc dans le schéma DN à la place des

prémisses C_i et non de la conclusion. Par conséquent, contrairement à ce qu'il commence par affirmer, cette prédiction existentielle standard n'entre pas du tout dans le cadre du schéma DN *de prédiction*, mais est bien plutôt reconstruite par Bangu comme une inférence à la meilleure explication.

2.2.1.2.Les conditions d'une prédiction existentielle.

Posons maintenant la question dans le cas général : une prédiction existentielle pourrait-elle être le résultat d'une prédiction selon le modèle DN ? Nous venons de voir que l'énoncé des *caractéristiques* d'une nouvelle entité (comme la masse ou la trajectoire de Neptune) peuvent être prédites selon le schéma DN, mais sous l'hypothèse de *l'existence* de cette entité, qui demeure postulée dans les conditions initiales. La question est donc de savoir si on peut également placer l'énoncé E_{k+1} de parmi les conclusions, tout en conservant la validité logique de l'inférence.

De façon générale, des commutations sont possibles, au sein du modèle DN, entre des énoncés placés en prémisses et des énoncés placés en conclusion. Cela arrive lorsqu'on inverse les rôles entre les « conditions initiales » et les « effets prédits », et que l'on prend les derniers comme conditions initiales pour la prédiction des premières. C'est ce qui est fait dans la prédiction des caractéristiques C_{k+1} de la $(k+1)^{ième}$ planète à partir de l'existence de $k+1$ planètes et des caractéristiques des k autres. Ces mêmes caractéristiques C_{k+1} peuvent ensuite être placées dans les prémisses, lorsqu'il s'agit d'expliquer enfin la trajectoire d'Uranus. Ces commutations sont possibles parce que les caractéristiques en question sont des déterminations de grandeurs (Masse, Temps, positions dans l'espace) qui entrent dans les lois L_i, et parce que ces lois ont la forme d'équations qui n'imposent pas un sens de lecture unique.

Mais une telle commutation est-elle possible pour un énoncé existentiel, dans le schéma DN ? Elle ne le serait que s'il y avait dans les lois L_i une grandeur dont les déterminations sont des énoncés existentiels, comme la grandeur N_P : « le nombre de planètes du système ». Si N_P était une grandeur liée aux autres au sein des lois L_i, alors en supposant suffisamment de conditions initiales, il serait en principe possible de déduire à partir des lois que le nombre de planètes du système est $N_P = k+1$. Appelons « grandeur existentielle » une grandeur physique dont toute détermination implique un nombre précis d'entités actuellement existantes. De façon générale, des prédictions existentielles sont donc possibles au sein du modèle DN de prédiction, c'est-à-dire peuvent occuper la place de conclusions au sein d'une déduction valide à partir d'énoncés de lois L_i et de conditions initiales C_i, *seulement si* les lois L_i contiennent une grandeur existentielle.

Cette condition n'est pas suffisante, puisqu'il faut en outre que les conditions initiales soient suffisamment riches pour que la détermination de cette grandeur existentielle par le calcul soit possible. Par exemple, il faudrait que les trajectoires des k autres planètes, et en particulier les déviations dans la trajectoire E' d'Uranus, impliquassent dans le modèle l'existence *d'une seule* autre entité massive, et exclussent ainsi d'autres possibilités comme par exemple l'existence de deux entités moins massives

qui seraient satellites d'Uranus, etc. De façon générale, nous dirons qu'un modèle mathématique est « existentiellement insaturé » quand le nombre d'entités du domaine est une variable libre et non une détermination d'une grandeur existentielle liée dans au moins une loi du modèle. Dans un modèle existentiellement insaturé, lorsqu'il s'agit d'utiliser le modèle pour calculer une prédiction selon le schéma DN, les énoncés d'existence sont donc forcément placés en prémisses, dans les conditions initiales, car la détermination du nombre d'entités n'est pas interne au modèle mais relève d'un postulat externe. Ce postulat peut être très bien justifié comme participant à la meilleure explication des phénomènes, il n'est pas prédit déductivement par une application du modèle.

Il nous semble donc que, contrairement à ce qu'affirme Bangu, les prédictions existentielles *standards* n'entrent pas du tout dans le schéma DN, et qu'elles ne sont donc pas, en tant que telles, des prédictions nomologiquement fondées. Néanmoins, Bangu applique ensuite son analyse des prédictions existentielles aux cas non-standards, et montre qu'elles dérogent au modèle DN en raison de la présence d'un principe hétérodoxe de « réification ». Commençons par présenter le cas de la prédiction de la particule Ω^- avant de voir les analyses qu'en donne Bangu.

2.2.2. La prédiction de l'existence d'Ω^-.

Commençons par présenter le cas de la prédiction de la particule Ω^- par Gell-Mann et Ne'eman en 1962, et détectée expérimentalement dans l'accélérateur de particules de Brookhaven en 1964 (Samios & Fowler, 1964). Cette prédiction est le résultat de l'application réussie d'une théorie mathématique, la théorie des représentations (irréductibles) de groupes, à la mécanique quantique. Cette théorie mathématique est utilisée pour mettre en place des classifications de particules, fondées sur les symétries de ces particules. Pour bien comprendre le fonctionnement de cette application, il faut remonter à l'idée séminale de Heisenberg concernant la permutabilité du proton et du neutron, avant d'en venir au groupe SU(3) et à la prédiction d'Ω^-.

2.2.2.1.L'application de la théorie mathématique des représentations (irréductibles) de groupes.

En 1932, Heisenberg propose de ranger dans une même catégorie le proton et le neutron, qui sont les deux particules soudées par l'interaction nucléaire forte au sein du noyau d'un atome. Non seulement les deux particules ont approximativement la même masse, mais elles diffèrent par une propriété (leur charge électrique) à laquelle l'interaction forte est indifférente (on dit qu'elle est « aveugle à la charge », « *charge-blind* »). Abstraction faite de leur charge et donc de l'interaction électromagnétique où ils occupent des rôles différents, il serait donc possible de permuter un neutron et un proton tout en laissant invariante l'interaction forte. Heisenberg propose alors de concevoir le neutron et le proton comme deux états différents d'une même particule, le nucléon, et annonce que la

transformation d'un état en l'autre est une opération qui conserve une quantité nouvelle, l'« isopsin », dont la conservation détermine l'invariance de l'interaction forte. Il appelle ainsi cette quantité parce qu'elle est mathématiquement similaire au spin des électrons. Cette similarité n'est que mathématique, et tient au fait que, comme le spin des électrons, l'isospin des nucléons a deux déterminations de signes opposés (positive et négative, « up » et « down ») et surtout est conservé en valeur absolue par les mêmes transformations que celles opérant sur le spin des électrons (rotations à 360°) ; mais l'isospin est une grandeur sans dimension, alors que le spin électronique est un moment cinétique. En tant que particules entrant dans l'interaction forte (et donc abstraction faite d'autres interactions), neutron et proton sont donc identiques et qualitativement indistinguables. Ces deux états de nucléon ne sont alors distincts que quantitativement, par le signe (l'orientation) de leur isospin. Autrement dit, ils ne sont distincts qu'en tant que déterminations différentes d'une même grandeur, l'isospin ½.

Weyl et surtout (Wigner, 1939) ont l'idée d'utiliser le formalisme de la théorie mathématique des groupes pour généraliser la démarche de Heisenberg pour la classification des particules fondamentales. Il s'agit de classer ensemble des particules « symétriques » au sens où elles peuvent être décrites comme des états différents d'une même particule, qui sont distincts par des transformations précises qui conservent des quantités ou « nombres quantiques » (comme l'isospin). En particulier, la symétrie d'isospin proton/neutron est mathématiquement capturée par le groupe de transformations unitaires SU(2) (composé de matrices de deux dimensions à coefficients complexes unitaires (1, -1, *i*, -*i*) et à déterminant unitaire). Intuitivement, ces transformations peuvent être conçues comme des rotations dans un espace complexe. Pour comprendre comment une classe de particules comme la classe à deux dimensions {proton, neutron} satisfait la structure d'un groupe comme SU(2), il faut introduire la notion de représentation de groupe.

La représentation d'un groupe G est l'association (par morphisme) des éléments de ce groupe (les transformations) aux éléments d'un Groupe Linéaire GL(V) d'un espace vectoriel V. Intuitivement, cette représentation montre comment des transformations de GL(V) opérées sur les éléments de l'espace V « reflètent » les transformations du groupe G, où « refléter » signifie capturer les mêmes symétries. Ce que Wigner conçoit alors, c'est que l'espace à deux dimensions composé par le neutron et le proton peut être décrit comme une représentation du groupe mathématique SU(2). Autrement dit, les états différents (ici, la « protonicité » et la « neutronicité ») sont conçus comme des éléments d'un espace vectoriel, qui sont distincts par les transformations qui permettent de passer de l'un à l'autre et sont décrites par le groupe de symétrie SU(2).

Plus précisément, on s'intéresse aux représentations *irréductibles* de groupe, et l'irréductibilité d'une représentation de groupe a un lien crucial avec le caractère *existentiel* des prédictions comme celle d'Ω^-. Une représentation est irréductible si l'espace V n'a pas de sous-espace invariant (stable sous les transformations du groupe) distinct de V et de son sous-espace de dimension nulle {0}. Intuitivement, cela signifie que cette représentation n'est pas composée, par addition, d'autres représentations.

L'importance de cette notion vient du fait que, alors qu'on peut concevoir des représentations d'un groupe comme SU(2) de dimensions *n*, avec *n* aussi grand que l'on veut, les dimensions possibles des représentations *irréductibles* sont déterminées mathématiquement. Les représentations irréductibles d'un même groupe sont appelées « multiplets » de ce groupe, et le caractère *déterminé* du nombre des éléments de ces multiplets joue un rôle crucial dans la prédiction mathématique de la particule Ω^-.

2.2.2.2.La prédiction d'Ω^-.

Les symétries de groupes offrent donc un moyen entièrement mathématique de classer ensemble différentes particules comme les *n* éléments distincts d'une même représentation irréductible de dimension *n* d'un groupe donné (un multiplet). Mais cet outil de représentation mathématique des ensembles de particules élémentaires a progressivement été utilisé comme un moyen pour forger des prédictions concernant l'existence de particules inconnues. Une fois établi qu'un multiplet à *n* places permettait de regrouper ensemble par exemple *m* particules connues (avec $m<n$), les physiciens prédisaient l'existence et les caractéristiques des particules devant occuper les $m - n$ places vides, et s'évertuaient de les détecter. Comme l'écrit Lipkin, cette représentation mathématique des particules connues permettait aux physiciens de formuler des « prédictions à partir de la structure du multiplet » :

> Toute nouvelle résonnance, c'est-à-dire toute nouvelle particule en interaction forte, doit appartenir à un multiplet de SU(3). Une fois qu'un membre d'un multiplet de SU(3) est détecté, alors tous les autres membres du multiplet doivent aussi exister. (Lipkin, 2002, p. 53)

Autrement dit, la représentation mathématique semble fournir aux physiciens des informations modales très importantes : non seulement elle circonscrit l'ensemble des particules *possibles* au sein d'une classe d'invariance (ici, toutes les particules possibles soumises à l'interaction forte), mais surtout cet espace de possibilités physiques est entièrement rempli par des particules *actuelles*. Toute la question est de savoir si une telle présupposition, qui est à l'origine des prédictions existentielles non-standard, est vraie et permettrait donc de fonder ces prédictions.

Lipkin fait référence à un groupe de symétrie SU(3), différent du groupe SU(2) présenté jusqu'ici. En effet, il est progressivement apparu que l'interaction forte ne conservait pas que l'isospin mais également une propriété quantique nouvelle, l'étrangeté (*strangeness*), ce qui élargit le groupe des symétries de SU(2) en SU(3). Les mathématiques donnent les dimensions précises des représentations irréductibles de ce groupe, qui déterminent les multiplets possibles de particules : 1, 8, 10, 27… L'espoir des théoriciens de la « voix octuple », Gell-Mann et Ne'eman, est de parvenir à une classification complète de tous les hadrons (mésons, baryons, etc. : particules sensibles à l'interaction forte) grâce à l'application de ce groupe de symétrie. On s'aperçoit que ces particules peuvent se classer en multiplets

remarquables (des octets, des décuplets) qui dessinent une figure (un hexagone, une pyramide) sur un plan formé par deux grandeurs : l'isospin (plus précisément, sa troisième composante I_3) et l'étrangeté. Les différents multiplets de hadrons se distinguent en ce qu'ils regroupent des particules de spins différents. Par exemple, l'octet des mésons (figure 1) regroupe l'ensemble des 8 particules de résonances mésoniques (spin entier = 1). L'octet des baryons semi-stables (spin ½) forme lui aussi une figure hexagonale (figure 2).

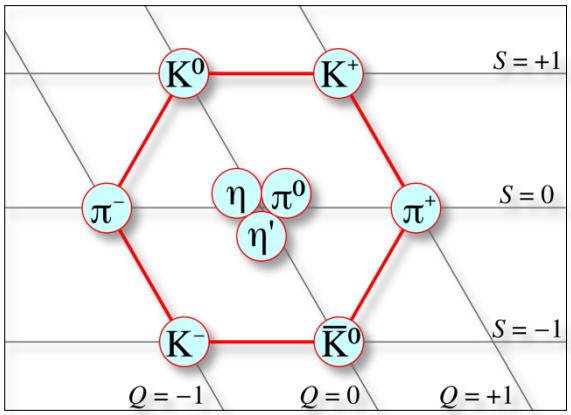


Figure 1 : Octet des mésons, spin = 1
(source : wikicommons)

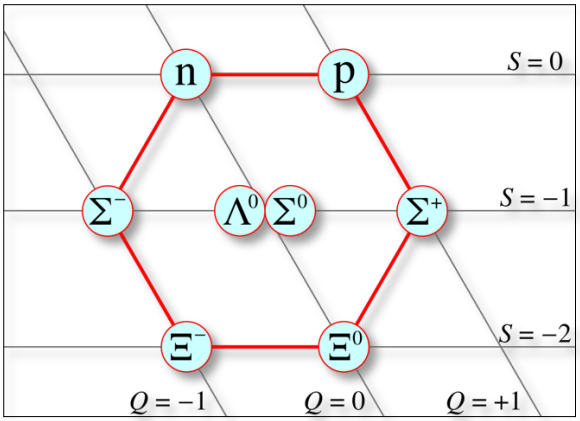


Figure 2 : Octet des baryons semi-stables, spin = ½
(source : wikicommons)

Mais c'est surtout le décuplet des baryons lourds (figure 3), de spin = 3/2, qui nous intéresse maintenant, car il a été le cadre de la prédiction de la particule Ω^-. Ne'eman raconte les circonstances de cette prédiction (Ne'eman, 1999). Depuis leur découverte par Fermi en 1952, quatre baryons de spin 3/2 sont connus, ce sont les quatre résonances Δ, d'étrangeté 0, distinctes par leurs isospins I_3 et par leurs charges. L'existence de ces quatre particules interdisait de classer les baryons 3/2 dans un octet, comme les baryons 1/2 ou les mésons, puisque leur disposition dans l'espace S x I_3 ne pouvait pas former une

figure hexagonale. Mais d'après la théorie mathématique utilisée ici, on savait alors que ces baryons pouvaient former une représentation irréductible de SU(3) à 10 membres (un décuplet) ou bien à 27 membres (figure 4).

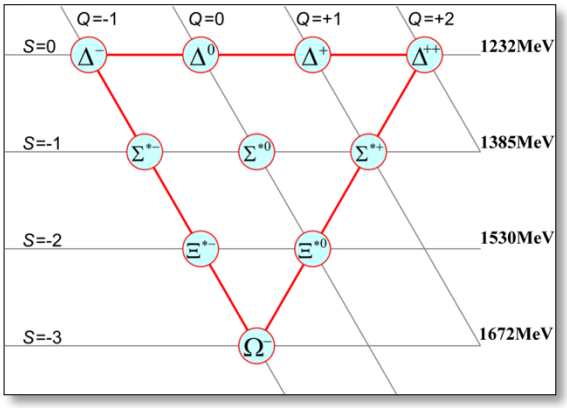


Figure 3 : Décuplet des baryons lourds, spin = 3/2
(source : wikicommons)

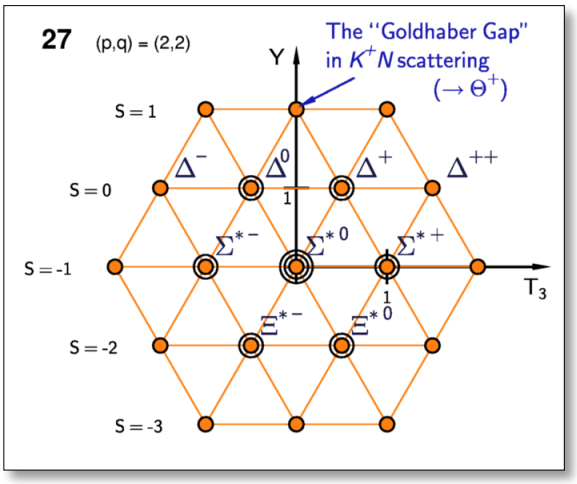


Figure 4 : 27-uplet des baryons lourds, spin = 3/2
(source : http://backreaction.blogspot.com)

En 1961, trois nouvelles résonances sont détectées, de masse moyenne 1385 MeV et d'étrangeté -1, qui trouvaient bien leur place dans ces deux représentations. Ce sont les particules ∑, que l'on voit bien placées dans le décuplet comme dans le 27-uplet. Si l'on observe la figure 4, on voit qu'il reste deux résonances ∑ qui sont permises par la représentation en 27-uplet, l'une de charge double-moins « $\sum^{*--}$ » et d'isospin -2, et l'autre de charge double-plus « $\sum^{*++}$ » et d'isospin +2, qui n'ont pas été détectées avec les autres. Toutefois, cela ne permet ni d'affirmer qu'elles n'existent pas, ni de disqualifier la représentation en 27-uplet en faveur du décuplet.

En 1962 se tient une conférence au CERN à Genève, où deux nouvelles résonances sont reportées, qui correspondent à une étrangeté -2, et sont distinctes par leurs charges moins et zéro, et leurs isospins -1/2 et 1/2. Ces particules sont notées Ξ^{*-} et Ξ^{*0} et prennent leur place aussi bien dans le décuplet que dans le 27-uplet. A nouveau, le fait que toutes les résonances d'étrangeté -2 du décuplet soit observées, alors que n'est découverte aucune résonance de même étrangeté mais appartenant seulement au 27-uplet, ne semble pas inciter les physiciens à rejeter cette seconde représentation. Mais c'est avec le résultat expérimental négatif rapporté par Gerson et Shoulamit Goldhaber que le rejet s'amorce : dans la collision de mésons K^+ et K^0 avec des protons et des neutrons, la théorie prédisait l'apparition d'un baryon 3/2 avec étrangeté = 1 et charge +, qui aurait eu sa place seulement dans le 27-uplet, et qui aurait permis de disqualifier le décuplet comme trop étroit pour contenir toutes les particules

existantes. Mais l'expérience de Berkeley menée par les Goldhaber montre l'absence de ces résonances, révélant une place inoccupée dans la représentation à 27, le « Goldhaber Gap » de la figure 4.

Peut-on en inférer que la représentation à 27 membres n'est pas pertinente, et qu'il faut donc croire que les baryons 3/2 s'arrangent en un décuplet ? C'est en tout cas ce qu'en infèrent en même temps et de façon indépendante Gell-Mann d'un côté et Ne'eman de l'autre, qui écrit :

> L'absence d'une résonnance à étrangeté positive dans l'expérience de Berkeley indiquait sans ambiguïté que c'était un décuplet, et donc que la particule Ω^- existait (la dernière place libre dans le décuplet à ce moment-là). (Hargittai & Hargittai, 2004, p. 48)

D'après le compte-rendu qu'en donne Ye'eman, les physiciens présents à la conférence de Genève ont « vu la pyramide se compléter sous leurs yeux », lorsque Gell-Mann « alla au tableau noir et exposa les caractéristiques de cette particule, qu'il appela « oméga moins » (en raison de sa charge négative et parce qu'oméga est la dernière lettre de l'alphabet grec) » (Ne'eman, 1999, p. 226). Il prédit ainsi conjointement l'existence et les caractéristiques quantiques de cette nouvelle particule, en se fondant simplement sur l'idée qu'il devait exister une particule pour occuper cette place dans la représentation, avec les caractéristiques essentielles de ce point dans l'espace de la représentation (avec des déterminations d'étrangeté, isospin, et charge). Cette prédiction est vérifiée en 1964 lors de la détection de cette particule avec les caractéristiques prédites, dans le synchrotron de Brookhaven.

Mais indépendamment de sa vérité, nous allons nous demander en quoi une telle prédiction, formulée avec pour seul souci que la représentation mathématique d'un ordre parmi ces particules élémentaires soit complète, peut être considérée comme fondée. En somme, comment justifier cette prédiction qui ouvrit, en novembre 1963, la chasse à Ω^-, et la distinguer fondamentalement d'une prévision oraculaire, audacieuse et portée seulement par une foi aveugle dans la valeur l'outil mathématique de représentation de la réalité physique ?

2.2.3. Le principe de réification dans les prédictions existentielles non-standards.

Comment Bangu applique-t-il son analyse des prédictions existentielles au cas de Ω^- ? Il faut, selon lui, deux ingrédients à une prédiction existentielle pour qu'elle entre dans le modèle DN, à savoir (i) que sous l'hypothèse où l'entité inconnue existe, l'anomalie observée est expliquée et (ii) que sous l'hypothèse où cette entité existe, ses caractéristiques peuvent être calculées à partir de ses interactions physiques avec les entités connues, selon les lois L_i. Il faut donc chercher ces deux ingrédients dans les prédictions existentielles non-standards, pour voir si elles entrent dans ce modèle DN.

On se place alors dans la situation des physiciens qui assistent à la conférence de Genève en 1962, qui voient la représentation à 27 membres être éliminée et la pyramide inversée du décuplet de

baryons se remplir progressivement, jusqu'à ce que seule sa pointe demeure inoccupée. Bangu propose alors d'identifier l'anomalie au fait que cette 10ème place du décuplet n'ait pas (encore) de référent physique, et l'existence de la particule Ω^- pour occuper cette place éliminerait l'anomalie : « selon le premier critère (l'anomalie), l'e-prédiction de Ω^- est conforme aux e-prédictions de DN : la nouvelle entité est postulée pour traiter (éliminer, prévenir) une anomalie » (Bangu, 2012, p. 102).

Mais à quoi identifier ensuite le point (ii), par lequel les caractéristiques de cette nouvelle entité sont calculées d'après les lois L_i et ses interactions avec les entités déjà connues ? C'est à ce point que pour Bangu les prédictions existentielles non-standards divergent du cas de la prédiction de Neptune, puisque les caractéristiques d'Ω^- ne sont pas déduites de ses interactions (régies par des lois) avec les autres particules, mais sont lues directement sur la représentation mathématique. Elles sont les coordonnées du point que cette particule occuperait dans l'espace théorique de la représentation mathématique, formé par les grandeurs quantiques pertinentes. Bangu reprend alors entièrement les analyses de Steiner, en expliquant que la prédiction des caractéristiques d'Ω^- suit un principe analogique, qu'il appelle « Principe de réification » (ou « d'Identification ») :

> Soient Γ et Γ' des éléments d'un formalisme mathématique appliqué dans un certain contexte physique. Si Γ' est mathématiquement similaire à Γ, alors, si Γ a une signification physique, Γ' a aussi une signification physique. (Bangu, 2012, p. 101)

Selon Bangu, on peut reconstruire la prédiction de Gell-Mann fondée sur ce principe :

> P1 : Chacune des neuf positions hautes dans le schéma de symétrie a une interprétation physique.
> H : Les baryons de spin 3/2 entrent bien dans le schéma SU(3).
> P2 : Le sommet bas de la pyramide est formellement/mathématiquement similaire aux neuf autres positions.
> P3 : L'existence physique d'un baryon, qui a les caractéristiques prédites, n'est pas interdite par les lois de la nature.
> PR : Principe de réification […]
> Conclusion : le sommet de la pyramide a aussi une interprétation physique.
> […]
> Gell-Mann n'a pas fait autre chose, en indiquant que le nouveau baryon devait avoir les caractéristiques de Γ^0, la place inoccupée dans le schéma. Par conséquent, ce principe joue le rôle crucial d'indiquer précisément quelles sont les caractéristiques de la nouvelle particule. (Bangu, 2008, p. 243)

C'est le rôle joué par le principe PR qui fait dévier ces prédictions existentielles non-standards du modèle DN selon Bangu. Les caractéristiques de la nouvelle entité ne sont inférées qu'au terme d'un raisonnement analogique, selon un principe PR qui ne peut pas être pris pour un énoncé nomologique.

En effet, PR souffre de nombreux problèmes qui interdisent d'y voir un fondement suffisant pour des prédictions nomologiques. En premier lieu, ce principe est trop large et souffre d'un nombre arbitrairement grand d'exceptions (Bangu, 2012, p. 103). Nous verrons plus bas en effet qu'il est facile de forger un exemple d'analogie mathématique et d'appliquer ce principe pour produire des prédictions aberrantes ou totalement absurdes. Ce principe n'aurait au fond pas d'autre justification que son efficacité dans des exemples historiques éclatants, ce qui n'est évidemment pas suffisant pour en faire un fondement pour les prédictions mathématiques. En second lieu, comme le souligne Ginammi, il repose entièrement sur la notion de « similarité formelle » ou « mathématique » qui ne peut pas être spécifiée autrement que d'une manière *ad hoc* (Ginammi, 2016, p. 23). Nous revenons plus bas sur cette notion problématique. Par conséquent, Bangu et Ginammi s'accordent à dire qu'une prédiction qui reposerait entièrement sur l'application de ce principe analogique général ne serait pas une prédiction fondée, mais serait plutôt à rapprocher d'une forme modérée de superstition (Bangu, 2012, p. 103 et 220).

Pourtant, la reconstruction proposée par Bangu pose de nombreux problèmes, vers lesquels nous nous tournons maintenant, et qui nous motiverons à proposer une analyse différente de la prédiction existentielle mathématique, qui entre parfaitement dans le modèle DN.

2.3. Ginammi et la représentativité des structures mathématiques.

Nous nous appuyons ici sur le relevé par Ginammi des problèmes posés par la reconstruction de Bangu. Nous présentons ensuite les solutions avancées par Ginammi dans sa propre analyse des prédictions existentielles mathématiques, avant de relever à notre tour des points d'insatisfaction.

2.3.1. Les problèmes liés à l'utilisation du principe analogique.

Ginammi relève deux problèmes majeurs posés par la reconstruction de Bangu, auxquels nous ajouterons un troisième. Premièrement, Bangu sous-estime le rôle du principe analogique dans le raisonnement. Il ne sert pas à prédire seulement les caractéristiques de la nouvelle entité, mais aussi son existence. Cette idée est à vrai dire contenue dans la formulation que Bangu lui-même donne du principe, qui permet d'inférer l'existence d'un référent physique correspondant à la place Γ^0 qui est formellement similaire à toutes les autres places dotées de référents physiques. Mais Ginammi va plus loin en mettant en évidence que le principe est en réalité *présupposé* pour que l'anomalie soit perçue ou conçue comme une anomalie. Imaginons en effet que les expériences de Brookhaven de 1963/1964 aient donné les mêmes résultats que l'expérience de Berkeley, en annonçant l'absence de particules aux coordonnées prévues par la représentation en décuplet de SU(3). Ginammi estime alors que :

> Ce n'aurait été une anomalie que si on présuppose déjà que toute place dans le schéma de symétrie *doit* avoir un référent physique – ce que dit précisément PR. La présence d'une place vide dans le schéma de symétrie (c'est-à-dire une place qui dans le formalisme n'a pas de référent physique) ne peut donc être vue comme une anomalie *que si* l'on présuppose la validité de PR. C'est une situation très étrange : l'anomalie n'existe *que si le principe censé l'expliquer et l'éliminer est valide*. (Ginammi, 2016, p. 24)

On pourrait en effet s'attendre à ce qu'un phénomène physique (ou une absence de) apparaisse comme une anomalie, aux yeux de scientifiques à un moment t, seulement relativement à des croyances et hypothèses d'arrière-fond *E*, et que cette anomalie soit dissoute ou expliquée par la modification de ces croyances et hypothèses en un nouvel ensemble *E'*. Il semble essentiel au processus d'apparition et dissolution d'une anomalie que les postulats théoriques responsables de son apparition soient différents de ceux responsables de sa dissolution, et que les seconds corrigent les premiers pour *expliquer* le phénomène anormal. C'est en tout cas manifestement le cas avec la prédiction de Neptune, où c'est la modification des postulats initiaux concernant le nombre de planètes du système qui fait d'un phénomène anormal un fait scientifiquement expliqué. Or, ici, le même principe (PR) est responsable de l'apparition de l'anomalie (il fait apparaître l'absence de référent physique pour une place vide comme un problème), et responsable de son élimination (en nous fondant à postuler l'existence de ce référent). Bangu ne s'aperçoit pas de ce rôle singulier joué par PR, en réduisant son application à la prédiction des caractéristiques d'Ω^- (mais pas de son existence).

Le deuxième problème posé par la reconstruction de Bangu est une suite du premier. L'anomalie dans le cas d'Ω^- n'est pas du tout de même nature épistémologique que les anomalies dans les cas de prédictions existentielles standards. En effet, premièrement, l'anomalie n'est pas encore constatée : il y *aurait* une anomalie si on cherchait la résonance d'Ω^-, et qu'on ne l'observait pas. A l'inverse, dans le cas de Leverrier, l'anomalie est actuelle et elle met gravement en danger le pouvoir explicatif de la théorie tant que l'anomalie n'est pas dissoute. L'anomalie associée à Ω^- est donc plutôt une « anomalie fantôme » (p. 24), une anomalie crainte mais non encore advenue, qu'il ne semble pas légitime de désigner comme une « anomalie » tout court. En effet, quelqu'un qui trouve la prédiction de l'existence d'Ω^- fondée et craint que cette prédiction ne soit pas vérifiée, est exactement la même position épistémique que s'il croyait qu'une loi est vraie, en tirait une prédiction non encore observée et craignait que l'observation expérimentale à venir ne la contredise. Mais une anomalie redoutée n'est pas encore un objet scientifique à expliquer. Deuxièmement, le postulat nouveau ici (l'existence d'Ω^-) ne vient pas *expliquer* l'anomalie (l'inexistence d'Ω^-), comme l'ajout d'une planète dans le système explique la trajectoire déviante d'Uranus, mais vient plutôt l'éliminer. Bangu reste suffisamment vague (« deal with », « eliminate », « prevent » p. 102) pour mettre sur le même plan explication et élimination. Ce qui est fait à l'anomalie dans les deux cas n'est donc pas du tout pareil : dans le cas de Leverrier, la trajectoire anormale d'Uranus n'est pas supprimée, mais expliquée ; et l'explication nouvelle a donc

pour effet de lui retirer son caractère d'anomalie ; alors que dans le cas d'Ω^-, c'est le fait anormal lui-même (l'absence d'Ω^-) qui est supprimé.

Nous suivons Ginammi dans ses critiques de la reconstruction de Bangu, mais elles nous semblent porter plus de conséquences qu'il n'en tire. Il apparaît en réalité bel et bien que postuler l'existence de Neptune pour dissoudre l'anomalie de la trajectoire d'Uranus est le résultat d'une inférence à la meilleure explication, et non d'une prédiction, alors que le postulat de l'existence d'Ω^- n'est pas du tout une explication, mais une pure prédiction (fondée sur la représentation mathématique). Nous justifierons cette thèse plus bas en montrant ce qui peut fonder cette prédiction, qui n'est pas le principe analogique de Steiner et Bangu.

Enfin, nous ajoutons en effet une troisième critique aux précédentes, et qui concerne la place même de ce principe analogique. Bangu pense qu'il joue un rôle fondamental dans les prédictions existentielles non-standards, et la première critique lui reprochait de *sous-estimé* son rôle. Mais on peut montrer maintenant qu'en réalité l'importance d'un tel principe analogique est largement *surestimée*. Il ne nous semble jouer aucun rôle, ni dans la prédiction de l'existence, ni dans la détermination des caractéristiques d'Ω^-. Premièrement, contrairement à ce que dit Bangu, nous ne voyons absolument pas à quoi PR peut servir dans la prédiction des caractéristiques d'Ω^- . En effet, la place occupée par Ω^- dans la représentation du groupe SU(3) est distincte et différente des autres : elle est distincte de *toutes* les autres par son étrangeté égale à -3 et sa masse, de *six* autres résonances par sa charge négative, et distincte de *huit* autres par son isospin nul. Ses caractéristiques essentielles, qui la distinguent de toutes les autres, sont déterminées comme résultats de *transformations* opérées sur n'importe quelle autre (et appartenant au groupe SU(3)). Ce n'est donc pas en vertu d'une quelconque « similarité formelle » que ses caractéristiques sont prédites, mais bien plutôt en vertu de *différences* physiques fixées et décrites par le groupe SU(3) (ou plus précisément, la représentation vectorielle de ce groupe). Finalement, la seule similarité formelle que Ω^- entretient avec les autres particules du décuplet est d'être une particule du décuplet des baryons 3/2, et la seule prédiction qu'une telle analogie (au sens de Steiner) pourrait fonder est que « Ω^- est un baryon 3/2 », ce qui est bien plus faible.

Deuxièmement, PR ne nous semble pas jouer de rôle dans la prédiction de *l'existence* d'Ω^- non plus. Nous avons pour cela un argument parfaitement suffisant : il est en principe possible de prédire l'existence conjointe de toutes les particules appartenant à un *n*-uplet symétrique, et comme cette prédiction concernerait toutes les particules, il ne peut pas être question de fonder la prédiction de l'existence de l'une sur le fait connu de l'existence des autres. Steiner rapporte justement un cas de ce genre, avec la prédiction de tout le triplet des π mésons (ou pions) par Nicholas Kemmer en 1938[113]. Les mésons étaient des particules recherchées à partir du milieu des années 1930 comme supports potentiels de l'interaction forte qui lie entre eux les nucléons. Kemmer s'aperçoit d'un lien entre les propriétés que

[113] (Steiner, 1998, p. 87) et (Kemmer, 1938).

peuvent avoir les mésons en tant que porteurs de cette interaction (leurs charges et leur spin) et les symétries d'isospin découvertes par Heisenberg entre les nucléons. Il prédit alors l'existence de trois particules de spin 1 appartenant à un triplet symétrique, et dont l'existence est vérifiée neuf ans plus tard avec la découverte expérimentale des pions. Il faut préciser que ces particules découvertes ne jouaient finalement pas le rôle que Kemmer leur prêtait dans l'explication de l'interaction forte, donc il est apparu rétrospectivement que sa théorie commettait des erreurs d'identification des bons référents physiques. Aussi, on sait depuis que le triplet des π ne représente pas complètement le groupe des mésons de spin 1 (*cf* l'hexagone de la figure 1). Mais l'important demeure que Kemmer prédit l'existence d'un *triplet* de particules de charges -, 0 et + pour de pures raisons de symétrie interne, sans avoir recours à une quelconque analogie entre des places d'une même représentation.

La place que Bangu accorde au principe PR concentre donc toutes les critiques. C'est pourquoi nous passons maintenant à l'analyse qu'offre Ginammi des prédictions existentielles, qui veut montrer qu'elles sont le fruit de raisonnements qui se dispensent de tout principe analogique.

2.3.2. La représentativité des structures mathématiques comme outil scientifique.

Ginammi pense comme Bangu que considérer les symétries internes d'une représentation mathématique, ou les propriétés du formalisme, ne joue aucun rôle dans la *justification* des prédictions, mais seulement dans leur *découverte*. Mais il montre aussi que le principe analogique PR de Steiner-Bangu ne joue aucun rôle, même dans la découverte d'Ω^-. Le problème principal de PR est son extension trop large, qui ne permet pas de discriminer entre des prédictions mathématiques légitimes et celles qui ne le sont pas. C'est pourquoi Ginammi propose une analyse où les prédictions basées sur le formalisme sont produites au cas par cas, et non en vertu d'un principe général.

2.3.2.1.L'efficacité représentative : structures excédentaires et structure parfaitement adéquates.

Pour y parvenir, il analyse *l'efficacité représentative* (*representative effectiveness*) d'une représentation mathématique. Une structure mathématique peut représenter un système physique si on peut postuler l'existence d'un morphisme du domaine physique vers la représentation mathématique, qui sélectionne et préserve dans le second les caractéristiques pertinentes du premier. C'est pourquoi il énonce que la condition *minimale* de l'effectivité représentative d'une structure mathématique, comme celle du décuplet dans le plan I_3-S, est l'existence d'un *monomorphisme* (c'est-à-dire un homomorphisme injectif) entre les deux (p. 24). Lorsque la représentation[114] remplit cette condition

[114] L'usage du terme de « représentation » ne doit pas être confondu avec l'usage qui en est fait dans la théorie des représentations de groupes, par exemple dans l'énoncé : « le décuplet des baryons 3/2 est une représentation irréductible du groupe de symétrie SU(3) ». Le terme renvoie pourtant au même concept défini dans la théorie mathématique générale des

minimale et est *seulement* un monomorphisme du domaine physique, c'est qu'elle contient des éléments (et potentiellement des relations) qui n'ont pas de référents physiques, et qui sont donc « superflus » (« *redundant* »). On parlera de structure excédentaire pour désigner une structure contenant des éléments superflus. Si, au contraire, le monomorphisme n'est pas seulement injectif mais bijectif, alors tous les éléments de la structure correspondent à un objet du domaine physique, et si les relations mathématiques entre ces éléments correspondent aussi à des relations physiques entre les objets représentés, alors la structure sera dite « parfaitement adéquate » (*perfectly fitting*) au domaine physique.

L'intérêt de la démarche de Ginammi est d'introduire cette distinction entre structure excédentaire et structure parfaitement adéquate dans un contexte où *on ne sait pas*, justement, si une structure est excédentaire ou parfaitement adéquate. Il soutient alors la thèse qu'une structure excédentaire peut néanmoins parfaitement jouer son rôle d'instrument de représentation, et qu'il suffit de ne pas prêter de signification physique à des éléments de cette structure qui sont redondants (p. 24). Contre Bangu, Ginammi pense que des scientifiques n'y verraient pas nécessaire d'anomalie, car ils peuvent postuler que leur instrument de représentation n'est pas parfaitement adéquat.

Revenons alors à la conférence de Genève de 1962. Lorsque les scientifiques ont pris conscience que le décuplet (figure 3) était la *bonne représentation* de la classe des baryons 3/2, c'est selon Ginammi qu'ils se sont aperçus que cette classe était homomorphiquement comprise (*embedded*) dans cette structure, qui préservait les rapports essentiels de symétrie entre les particules. Autrement dit, l'expérience suggérait l'existence d'un monomorphisme entre les deux ensembles. Mais ils ne savaient si *tous* les éléments de la représentation jouaient un rôle représentatif, et donc si la structure était parfaitement adéquate. Pour Ginammi (contre Bangu), les scientifiques ne voient alors aucune anomalie dans place encore vide dans cette structure. Ils peuvent utiliser la richesse interne de cette structure pour générer de nouvelles hypothèses, sans chercher ainsi à éliminer une anomalie. Ginammi détaille cette « stratégie heuristique » (p. 25) en trois étapes : (1) formuler l'hypothèse selon laquelle l'élément Γ de la structure joue effectivement un rôle représentatif, (2) proposer une interprétation physique bien définie pour cet élément Γ et (3) postuler qu'il existe dans le système physique visé un élément qui correspond bien, via l'interprétation (2), à l'élément Γ. Ginammi note qu'aucune de ces trois étapes ne fait référence à un quelconque principe analogique, et que PR est donc en principe parfaitement dispensable à la stratégie heuristique.

---

représentations. Mais c'est son usage qui est très distinct : là, il renvoie à un morphisme entre un groupe mathématique de transformation et son application à des transformations sur un espace vectoriel d'états quantiques ; ici, il désigne un rapport entre une représentation scientifique (un schéma) et un système d'objets physiques.

2.3.2.2.Les quatre problèmes de l'analyse de Ginammi.

Cette analyse ne nous semble pas satisfaisante, pour quatre raisons. Premièrement, l'absence de tout principe d'analogie dans ce schéma de raisonnement vient probablement du fait que Ginammi propose un traitement au cas par cas des prédictions existentielles non-standards, même pour des prédictions générées par *une même* représentation mathématique. On pourrait s'attendre à ce que, s'il restait par exemple trois dernières places vides dans le décuplet et non une seule, Gell-Mann aurait pu prédire l'existence des particules Ξ^{*-} et Ξ^{*0} en même temps que celle d'Ω^{-}, en faisant un seul et même raisonnement. C'est donc une question de savoir si la stratégie de prédiction « une par une » correspond bien à ce qui se passe dans ces contextes de découverte. Plus généralement, Ginammi renonce ce-faisant tout à fait à chercher un fondement général pour les prédictions basées sur une même représentation mathématique, alors que nous pensons possible d'en trouver un.

Ensuite, son analyse de la méthodologie de la *découverte* a une conséquence sur le contexte de *justification* en cas de résultat négatif, et cette conséquence nous semble mauvaise. En effet, selon Ginammi, il faut distinguer deux types d'échec pour ces prédictions existentielles non-standards. En voulant vérifier expérimentalement la prédiction, on peut (A) ne trouver aucune particule (ou en général aucun objet physique) aux coordonnées théoriques fixées par la représentation, ou bien (B) trouver une particule (ou un objet physique) qui existe mais n'a pas les caractéristiques fixées par la représentation :

> Dans le cas (B), nous aurions une véritable anomalie, puisque la théorie ne pourrait pas rendre compte des mesures. Dans le cas (A), en revanche, l'anomalie ne consisterait que dans le simple fait que le schéma de symétrie présenterait une place vide. […] Bangu n'a pas aperçu cette différence, parce qu'à l'aune du principe PR, il n'y a plus de différence entre les échecs (A) et (B), qui se confondent […] L'échec (A) ne saperait pas du tout la condition de monomorphisme, alors que (B) le ferait. L'échec (B) montrerait en réalité qu'il existe dans la nature une particule qui n'est pas représentée par la structure mathématique employée ; au contraire, l'échec (A) ne ferait que montrer que cette structure contient des éléments superflus. Mais, comme nous l'avons vu, une structure mathématique peut contenir des éléments superflus et demeurer effectivement représentative. (Ginammi, 2016, p. 24)

Ginammi soutient donc d'une part que cette distinction des échecs possibles est pertinente, et que Bangu ne l'a pas aperçue à cause de la place accordée par au principe analogique PR, et d'autre part que l'échec A ne constituerait pas un motif de rejet de la représentation mathématique. D'après la méthodologie qu'il propose, un tel échec justifierait simplement de tenir la structure mathématique pour partiellement superflue et non parfaitement adéquate, ce qui n'interdirait pas de la conserver comme une bonne représentation. Or ces deux thèses nous semblent contestables, et ce sont nos deuxième et troisième raisons de rejeter son analyse.

Deuxièmement en effet, il n'est pas évident de parler dans le cas (B) d'un échec *de la prédiction d'Ω^-*. En effet, à quelle condition l'observation d'une particule Γ constituerait-elle un échec de la prédiction d'une particule Ω^- ? Ce ne peut pas être seulement, comme le dit Ginammi, que ce résultat « montrerait qu'il existe dans la nature une particule qui n'est pas représentée par la structure mathématique ». De fait, il existe des particules dans la nature qui ne sont pas représentée par le décuplet de baryon 3/2 : des mésons, des baryons 1/2, etc. Pourtant, le décuplet s'est de fait avéré parfaitement adéquat. Donc il faut, en outre, que nous ayons de bonnes raisons de penser que la particule Γ appartienne à la classe des baryons 3/2. Par conséquent, pour qu'un échec de type B soit possible, il faut que Γ puisse appartenir à la classe d'objets physiques visée par la représentation sans être correctement située, par un ensemble de coordonnées déterminées, dans cette représentation. Un échec de type B signifie donc que la représentation n'est pas complète, parce qu'elle ne représente pas toutes les particules appartenant à cette classe. Mais dans ce cas, la représentation n'est pas un monomorphisme, donc cela contredit la condition minimale posée par Ginammi. C'est donc *toute* la représentation qu'il faut rejeter, et le cas (B) n'est donc nullement un échec *de la prédiction d'Ω^-*.

Troisièmement, il nous semble qu'un échec de type A est lui aussi de nature à justifier le rejet de la représentation mathématique, contrairement à ce qu'affirme Ginammi. Nous allons soutenir la thèse selon laquelle à certaines conditions, qui restent à détailler, la non-observation d'une particule (avec les caractéristiques prédites) là où on la cherchait constitue un motif légitime pour rejeter la représentation. Cette thèse est le pendant négatif de la thèse du caractère fondé de la prédiction, car si la prédiction est bien fondée sur la représentation mathématique, alors sa non-vérification doit entraîner, par une démarche classique de test empirique, le rejet de cette représentation.

Nous argumenterons plus bas en faveur de ces thèses. Mais on peut la voir tout de suite à l'œuvre dans la réaction des physiciens de la conférence de 1962 aux résultats de l'expérience de Berkeley. Lorsque Gerson et Shoulamit Goldhaber ont rapporté l'absence de la résonance Θ^+ attendue après la collision d'un méson K^+ avec un neutron N, résonance qui appartenait à la représentation à 27 places du groupe SU(3) mais pas au décuplet, les scientifiques ont alors *rejeté* la représentation à 27 places pour représenter la classe des baryons 3/2. Par exemple, il était dès lors exclu de prédire l'existence d'une particule d'étrangeté 3, comme Ω^0, qui aurait appartenu au 27-uplet mais pas au décuplet. Contrairement au scénario de Ginammi, ils ne sont donc pas dit que *cette* place Θ^+ (charge +, étrangeté +1, isospin 0) n'avait pas de référent physique, bien que peut-être d'autres places de la représentation à 27 membres, comme Ω^0, pouvaient encore remplir un rôle représentatif. La question est donc de savoir pourquoi les physiciens comme Gell-Mann, apprenant l'issue de l'expérience de Berkeley, n'ont pas considéré comme légitimes des prédictions comme celle de Ω^0, mais ont au contraire prédit qu'Ω^- était la *dernière* particule à découvrir dans la classe des baryons 3/2 ? Pourquoi les physiciens ont totalement abandonné la représentation à 27 places, et déduit que le décuplet était parfaitement adéquat ? Et Ginammi ne peut pas répondre à cette question.

Quatrième et dernière raison, les analyses de Ginammi impliquent que lors des prédictions existentielles non-standards, c'est la représentativité d'une structure mathématique qui fait l'objet des hypothèses testées empiriquement. Les physiciens feraient par exemple l'hypothèse que « le décuplet de SU(3) est une représentation parfaitement adéquate », et en découvrant ou non les particules de ce décuplet, c'est la vérité (ou la fausseté) de cette hypothèse portant sur la représentativité de la structure qui est décidée empiriquement. Or il semble que l'hypothèse de représentativité de la structure n'est pas précisément l'hypothèse empiriquement testée. Ce qui est testé empiriquement, c'est la prédiction de l'existence de telle ou telle particule, correspondant à une place dans cette représentation. Or, pour qu'une telle prédiction soit même légitime, il faut *présupposer* la représentativité de la structure. Sans cette présupposition, il n'y aurait aucune « anomalie » si l'expérience montrait que la particule n'existait pas, et la réfutation empirique de la prédiction n'invaliderait rien. L'hypothèse de représentativité de la structure n'est donc pas *testée*, mais *présupposée* par le test empirique, et il faut donc que les physiciens aient au préalable de bonnes raisons de penser que la structure mathématique est « parfaitement adéquate » – des raisons qui n'ont pas à voir avec l'existence ou l'inexistence des particules en question.

Ainsi, sans contester précisément la reconstruction par Ginammi de l'utilisation heuristique des mathématiques, dans une stratégie de découverte, nous montrons qu'elle a des conséquences critiquables dans le contexte de justification. Premièrement, il nous semble qu'au-delà du cas par cas, ces prédictions sont bel et bien justifiées et fondées *sur un principe général*, qui n'est certes pas analogique, et que nous allons devoir exhiber dans la suite. Deuxièmement, c'est ce principe général qui doit expliquer pourquoi un résultat expérimental de type (B) (par exemple, la détection d'une particule qui est un baryon 3/2 mais qui n'entre dans aucune case de la représentation mathématique) implique le rejet de *toute* la représentation. Troisièmement, c'est ce même principe général qui doit expliquer pourquoi un résultat expérimental de type (A) (la non-détection du baryon 3/2 prédit) implique lui aussi le rejet de *toute* la représentation. Enfin et quatrièmement, ce principe explique tout cela parce qu'il est la justification préalable que se donnent les physiciens pour tenir l'ensemble d'une structure mathématique pour parfaitement adéquate, qui *fonde* alors les prédictions existentielles des particules devant occuper les places de cette structure, et légitime à voir les expériences de détection comme des tests empiriques. Essayons donc maintenant de formuler un tel principe, qui ne doit pas être le principe analogique PR.

3. Le fondement des prédictions existentielles non-standards.

Nous allons montrer à quelle(s) condition(s) il est *possible* que des prédictions mathématiques (et en particulier des prédictions existentielles) méritent bel et bien le titre de « prédictions », et soient donc nomologiquement fondées. Pour cela, nous montrerons comment elles peuvent parfaitement être analysées par le modèle DN de prédiction, ce qui supposera d'exhiber les aspects de la structure mathématique qui servent de fondement nomologique à la dérivation de la prédiction. Nous proposerons

un principe général, dont la validité est présupposée en chaque cas de prédiction fondée. Ensuite, nous montrons comment ce principe est appliqué dans les deux cas historiques étudiés (prédictions du positron et d'Ω^-). Contre Bangu et Ginammi, nous soutiendrons donc que ces exemples sont d'authentiques cas de *prédiction* mathématique (et non seulement des exemples d'une heuristique mathématique). Ces reconstructions nous aideront à défendre la thèse épistémologique soutenue dans cette section, selon laquelle les prédictions existentielles non-standards sont bel et bien fondées sur un principe général de prédiction qui s'applique à nos outils mathématiques de représentation des phénomènes, et qui n'est pas un principe analogique.

3.1.Le Principe d'Extension des Relations (PER).

Nous cherchons ici les conditions pour qu'une prédiction mathématique soit nomologiquement fondée, et nous les trouvons dans un principe général, appelé « PER », qui une fois correctement appliqué à une représentation mathématique, permet de déduire les prédictions.

3.1.1. La nécessité d'un détour structuraliste.

Nous commençons par expliquer pourquoi il faut mener cette analyse en suivant une approche structuraliste des outils scientifiques de représentation et de formulation des théories, comme le fait Ginammi. On se rappelle la citation de Lipkin, qui énonçait le principe des prédictions existentielles de toute nouvelle résonance au sein d'un multiplet SU(3) :

> Toute nouvelle résonnance, c'est-à-dire toute nouvelle particule en interaction forte, doit appartenir à un multiplet de SU(3). Une fois qu'un membre d'un multiplet de SU(3) est détecté, alors tous les autres membres du multiplet doivent aussi exister. (Lipkin, 2002, p. 53)

L'utilisation du terme « multiplet de SU(3) » est dans cette citation extrêmement équivoque, et par conséquent aussi, l'utilisation de tout nom de résonance ou de particule. En effet, le « multiplet SU(3) » peut désigner ou bien la structure mathématique M, formée par exemple par une pyramide de dix positions sur le plan S x I_3, ou bien la classe des particules physiques qu'on désigne par le nom de « baryon 3/2 », et dont, à un moment *t,* toute l'extension et les caractéristiques ne sont pas forcément connues. De même, le nom d'une particule comme Ω^- peut désigner la place dans la structure « M » ou bien l'entité physique qui, en existant et en ayant les caractéristiques correspondant à cette place, en est le référent physique. Ainsi, dans la première phrase de Lipkin, on comprend qu'un multiplet SU(3) désigne une structure représentative M qui fait l'objet d'une hypothèse de classification : on postule

qu'une famille d'entités à l'étude, comme les baryons 3/2, appartiennent à tel multiplet SU(3). On peut la généraliser ainsi :

(a) Toute entité physique actuelle appartenant à la classe C (par exemple la classe des baryons 3/2) correspond à une place dans la structure représentative M (M décrit toutes les entités de la classe C).

Le principe (a) peut se dire aussi, dans le vocabulaire structuraliste de Ginammi : il existe un monomorphisme qui injecte tous les éléments de C dans la représentation M. On se demandera plus loin s'il est nécessaire d'opter pour une version modalement atténuée de cet énoncé, qui serait :

(a') Toute entité physiquement possible appartenant à la classe C correspond à une place dans la structure représentative M (M décrit toutes les possibilités physiques d'entités de classe C).

Un des problèmes posés par cette formulation sera bien de savoir en quel sens la classe C peut contenir des membres actuels et des membres seulement possibles. La seconde phrase de Lipkin, signifie alors qu'une fois détectée l'existence d'une entité qui « entre bien dans » (*fits in*) la structure mathématique M, qui décrit un multiplet, alors on peut prédire que toutes les autres places de cette structure ont un référent physique doté des caractéristiques adéquates, c'est-à-dire : tous les autres membres hypothétiques de ce multiplet existent. Dans ce cas, le « multiplet » désigne la structure classificatoire des membres d'une famille d'entités, comme les baryons, et faire l'hypothèse qu'un « multiplet existe », c'est postuler que cette famille comprend un nombre précis de membres et est structurée par des relations déterminées. C'est pourquoi, en posant qu'une structure mathématique M décrit une classe d'éléments hypothétiques, en fixant leur nombre et leurs relations (dans le cas de la physique des particules, un « multiplet »), le principe méthodologique de Lipkin peut maintenant s'écrire :

(b) Si une entité physique e appartenant à une classe C correspond bien à la place Γ de la structure mathématique M, alors toutes les autres places Γ', Γ'', etc. de M ont un référent physique qui leur correspond bien et a les caractéristiques adéquates (M décrit parfaitement adéquatement la classe C).

Dans les termes de l'analyse structurale de la représentation scientifique, ce principe (b) signifie que la représentation mathématique M est « parfaitement adéquate » (« *perfectly fitting* ») pour la classe C, c'est-à-dire qu'il existe un *isomorphisme* de C dans M qui préserve le nombre d'éléments de C et les relations pertinentes entre eux. A cette condition, le nombre d'éléments de M et les relations structurales qu'ils entretiennent sont porteurs d'informations sur le nombre d'éléments de C et leurs relations. On s'aperçoit bien que (b) a des conséquences existentielles : si tous les membres de C ne sont pas encore

connus ni détectés, (b) nous permet de prédire leur existence et leurs caractéristiques à partir de la structure mathématique M. Nous posons donc, contrairement à Ginammi, que le caractère « parfaitement adéquat » d'une représentation est présupposé avant toute prédiction de ce type, et n'est donc pas l'objet de l'hypothèse empiriquement testée par la tentative de détecter l'existence d'une nouvelle entité. L'approche structurale nous permet de formuler ce présupposé de manière précise.

Mais on s'aperçoit du même coup que toute la valeur de (b) tient dans la signification de sa condition : que signifie qu'une entité physique *e* « corresponde bien » ou soit « adéquatement représentée » par une structure mathématique M ? La question est la même lorsque ce sont plusieurs entités physiques, dont on sait qu'elles appartiennent à une même famille d'entités, qui « entrent bien » dans une structure. Tout le problème de cette condition est qu'elle est apparemment bien trop faible et lâche pour entraîner des conséquences aussi intéressantes et risquées que des prédictions existentielles. Après tout, il semble possible de faire entrer l'entité physique *e* dans n'importe quelle structure mathématique et de produire ainsi des prédictions existentielles aberrantes. Nous en donnons ci-dessous un exemple. Par conséquent, on doit se demander à quelle condition les physiciens peuvent légitimement penser qu'une structure mathématique est parfaitement adéquate à la classe d'objets physiques représentés. Nous pensons qu'existe un critère général pour discriminer les cas où cette croyance est légitime de ceux où elle ne l'est pas, et où les prédictions existentielles qu'on pourrait en tirer sont aberrantes ; et que par conséquent, se baser sur une représentation mathématique pour faire ces prédictions, peut *ne pas* relever d'une foi aveugle ou « pythagoricienne » dans l'effectivité déraisonnable des mathématiques.

3.1.2. Représentations redondantes et représentations adéquates.

Exposons un exemple simple de prédiction mathématique aberrante, qu'on transformera ensuite en prédiction mathématique légitime, pour faire apparaître la différence entre les deux.

Imaginons un panier fermé, dont nous savons seulement qu'il contient un nombre entier *n* de pommes. Mais nous n'avons le droit (par exemple, à cause d'un limitation technique ou instrumentale) de ne dévoiler l'existence que de 9 pommes, par tirage successifs. Nous voulons représenter le panier de pomme par une structure mathématique, en associant toutes les pommes tirées avec un nombre entier, et il faut faire des choix conventionnels de représentation (*cf* chapitre VI). Le plus simple est de représenter les pommes tirées par la structure numérique N : <{1,2,3,4,5,6,7,8,9},{<}>. Cette structure est déjà trop riche, car elle contient une relation d'ordre qui n'a pas de signification physique, car nous n'avons aucune raison de supposer que dans le panier les pommes sont ordonnées, et le seul ordre entre elles est imposé par l'opération de les tirer et compter les unes après les autres. Mais le nombre d'éléments de la structure représentative peut aussi varier, et l'on peut choisir pour représenter le panier la structure des dix premiers nombres entiers N' : <{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10},{<}>. Dans cette structure, les

9 pommes tirées occupent les 9 premières places, et il y a une dixième place vide. Or nous ne savons pas s'il existe dans le panier des pommes supplémentaires en plus des 9 déjà tirées. Néanmoins, il serait illégitime de prédire l'existence d'une dixième pomme dans le panier, en s'appuyant par exemple sur le principe PR et la « similitude formelle » entre cette 10ème place et toutes les autres places occupées dans la structure N'. Il est manifeste que dans ce cas, une prédiction existentielle serait totalement absurde.

Ajoutons maintenant un élément supplémentaire. Imaginons que ces pommes proviennent toutes d'un arbre très particulier, dont l'espèce est dite « à maturation distributive ». Posons qu'il y a une grandeur biophysique pour les pommes, bien définie et mesurable, qu'on appelle « degré de maturation d'une pomme », et qui se compte de 1 à 100. L'échelle est ordinale, et on dit qu'une pomme de degré de maturation 11 est plus mûre qu'une pomme à 10, mais moins qu'une pomme à 20. Mais nous en savons plus sur le fonctionnement interne de cet arbre. Un pommier à maturation distributive a une façon très particulière de provoquer la maturation de ses pommes. Pour tous les fruits qu'il porte, un et un seul de ces fruits commence sa transition du degré de maturation n au degré $n+1$ dès qu'un autre de ses fruits a atteint le degré n (pour tout $n \geq 1$). On peut imaginer que tous les fruits murissent à la même vitesse, ou pour ne pas ajouter de grandeurs inutiles, que le passage d'un degré de maturation à un autre est instantané : les fruits murissent par sauts unitaires. On suppose aussi que le premier fruit apparaît en passant spontanément au degré de maturation 1, pour amorcer la séquence. Si cette loi de maturation distributive est respectée, alors à un moment t, l'ensemble des pommes portées par cet arbre occupent *toutes* les positions dans un intervalle de l'échelle de maturation allant de 1 à n, avec n le nombre total de pommes sur l'arbre.

Soit t le moment de la cueillette, où *toutes* les pommes de l'arbre sont cueillies et conservées dans le panier. Imaginons qu'on ne fait pas que compter les pommes avec 9 tirages, mais qu'on mesure aussi systématiquement le degré de maturation de toute pomme tirée du panier. Nous représentons les pommes tirées à nouveau par une échelle numérique, qui n'est autre cette fois que l'échelle des degrés de maturation des pommes M : <{.,2,3,4,5,6,7,8,9,.,11, .},{<}>. Dans cette représentation, la place « i » est occupée par une pomme tirée de degré de maturation i ; et sont vides les places '1', '10' et '12', parce qu'aucune des neuf pommes tirées ne présente de tels degrés de maturation, et donc ne correspond à ces places. Ne serions-nous pas fondés à prédire l'existence de deux autres pommes (inobservées), dans le panier, qui seraient les référents physiques des places « 1 » et « 10 » dans la représentation ? Et pourquoi ne serait-ce pas aussi le cas de la place « 12 » ?

Soient ces prédictions PE_1 : « Il existe dans le panier une pomme de degré de maturation 1, qui est le référent physique de la place '1' », PE_{10} : « Il existe dans le panier une pomme de degré de maturation 10, qui est le référent physique de la place '10' » et PE_{12} : « Il existe dans le panier une pomme de degré de maturation 12, qui est le référent physique de la place « 12 » ». Nous devons donc trouver la raison pour laquelle PE_1 et PE_{10} sont fondées, quand PE_{12} ne l'est pas. Autrement dit, le fondement des prédictions qui se basent sur la représentation mathématique doit être discriminant, et

doit nous permettre de comprendre pourquoi d'autres tentatives semblables de prédiction ne le sont pas. Si PE_1 et PE_{10} sont fondées, ce n'est manifestement *pas* en raison de la « similitude formelle » entre ces places et les autres places occupées, parce qu'un tel critère devrait aussi s'appliquer à la prédiction PE_{12}.

Ce qu'ont en commun les places « 1 » et « 10 » et que n'a pas la place « 12 », c'est d'être un élément x de la structure M tel qu'il existe dans M un élément y avec $x < y$. On peut donc poser comme principe général de prédiction pour les places dans la structure M :

(PM) Pour tout x appartenant à M, s'il existe dans M un élément y qui a un référent physique avec x < y, alors x a un référent physique.

Un tel critère nous permet bien de distinguer entre les prédictions PE_1 et $PE_{10,}$ qui le satisfont, de la PE_{12} qui ne le satisfait pas. Mais ce critère soulève une critique immédiate. En tant que tel, n'est-il pas qu'une version modifiée du principe général de réification, qui contient simplement une version précisée de la notion de « similarité formelle » ? Être « formellement similaire » ne signifie plus, pour tout x, appartenir à la même structure qu'un y, mais lui appartenir et remplir des conditions plus précises. Le problème alors est que cette spécification de la notion de « similarité formelle » est *ad hoc* car directement suggérée par l'exemple où nous l'appliquons, et est entièrement taillée pour lui convenir, ce qui ne permet pas du tout de trouver une solution *générale* au problème du fondement des prédictions existentielles non-standards.

Nous répondons que (PM) n'est effectivement pas un principe analogique général, mais s'il ne convient que pour la représentation M, ce n'est pas de façon *ad hoc*, mais pour une raison précise. Et c'est cette raison qui est très générale, et pourra s'appliquer à d'autres principes et d'autres représentations. Il faut donc comprendre pourquoi (PM) convient si bien au problème imaginaire exposé ici, pour généraliser ce qu'on aura trouvé. D'un point de vue structuraliste, (PM) nous permet de distinguer entre la partie de la représentation M qui est superflue (la place « 12 ») et qu'on peut abandonner, et la sous-structure de M qui est parfaitement représentative. Et par conséquent, il nous fonde à réduire la représentation scientifique à sa seule partie parfaitement adéquate. (PM) agit donc comme un critère de représentativité, et on doit comprendre sur quel fondement on peut tenir un critère comme (PM) pour un bon critère.

Or, ici, nous savons que (PM) convient parce que, d'après ce que nous savons de l'arbre d'où les pommes sont cueillies, si cet arbre porte un fruit de degré n, alors il porte un fruit de degré $n - 1$ (si $n > 1$). Sur cet arbre, si une pomme de degré n existe, alors nous savons qu'elle entretient une relation de succession avec une pomme de degré $n - 1$. Nous avons donc connaissance d'une loi biologique impliquant ce que nous appelions une « grandeur existentielle », c'est-à-dire ici une grandeur impliquant un nombre d'entités (des pommes). Cette loi décrit un ordre linéaire objectif entre toutes les pommes de l'arbre, et impose précisément que toute pomme de degré n est le successeur, sur l'échelle des degrés de

maturation, d'une pomme de degré *n – 1.* Comme par hypothèse *toutes* les pommes de l'arbre sont recueillies dans le panier, la loi nous permet donc d'inférer, à partir de l'existence et l'observation d'une « 11ème pomme », l'existence des dix « pommes *i*èmes » (tous les $i < 11$).

C'est donc la connaissance de la loi biologique reliant, dans cet arbre, le *nombre* (ordinal) de pommes et le *degré* de maturation de ces pommes, qui nous fonde à tenir (PM) pour valide. Par conséquent, (PM) est un bon critère de représentativité parce qu'il se fonde sur l'extension d'une relation « < » qui reflète (*mirrors*) dans la représentation mathématique une relation réelle de « succession dans l'ordre de maturité » qui vaut entre les pommes.

3.1.3. Le Principe d'Extension des Relations (PER).

Tentons maintenant de généraliser ce que nous avons découvert. Nous pouvons formuler un principe épistémologique général qui est à l'œuvre dans toute prédiction mathématique (et en particulier, les prédictions existentielles). Appelons C la classe ou le système physique visé par la représentation mathématique M, et soit R un ensemble de relations définies dans M. Nous l'appelons Principe d'Extension des Relations (PER) :

*(PER) : Si les relations R reflètent (*mirror*) les relations réelles entre les éléments de C, alors si les éléments Γ′, Γ′′,… de la représentation M appartiennent à l'extension du même faisceau de relations R que l'élément Γ de M, et que l'élément Γ a un référent physique adéquat dans C, alors les éléments Γ′, Γ′′,… ont des référents physiques adéquats dans C.*

L'« extension relationnelle » d'une partie d'une structure par une autre signifie que les éléments de la seconde appartiennent à l'extension des mêmes relations que la première. Ce principe affirme globalement que toute partie de la structure M qui étend relationnellement une partie physiquement interprétée de M est physiquement interprétable, et qu'on peut alors former à partir d'elle des prédictions existentielles. Plus précisément, il affirme non seulement qu'il existe une interprétation physique de *Γ′, Γ′′,…* mais aussi que leurs référents physiques sont adéquats, c'est-à-dire ont les caractéristiques décrites par la représentation. Pour souligner ce qu'apporte ce principe, il faut insister sur quatre points.

Premièrement, il est plus précis que le principe (b) posé plus haut, qui affirmait de façon brute que la représentation M était parfaitement adéquate à C. Il permet d'abord de préciser le contenu de la croyance dans le caractère parfaitement représentatif de M. En appliquant (PER), on croit qu'un ensemble d'éléments {Γ} d'une représentation M ont des référents objectifs parce qu'ils sont instances de certaines relations R de cette structure. Le contenu de la croyance porte sur l'extension de ces relations. Il est aussi plus précis épistémologiquement, dans la mesure où il pose un ordre entre les relations et leurs *relata* au sein de M. Appliquer (PER), c'est en effet sélectionner les éléments de cette

représentation M à interpréter physiquement en fonction de leur entrée dans un ensemble de relations R. Ce sont les relations dans la représentation qui permettent de sélectionner les éléments à interpréter. Les éléments qui ne sont pas dans l'extension de ces relations R, ou dans l'extension de relations qui n'appartiennent à R, peuvent être éliminés comme de la structure excédentaire (*excess structure*), ou du moins la recherche de leur éventuel référent physique n'est pas légitime.

Ensuite, c'est un principe très puissant dans la mesure où il permet, en étant appliqué, de déduire l'existence d'une entité physique à partir de ses caractéristiques. Plus précisément, dans la mesure où les caractéristiques d'une entité physique Γ' hypothétique sont données par celles de la place qu'elle occuperait dans M, et que les caractéristiques de cette place sont déterminées relationnellement (par les relations R avec toutes les autres places de M), alors les caractéristiques de Γ' sont relationnelles. Mais comme c'est en même temps le fait qu'elle entre dans ces relations R qui nous fonde à penser qu'elle existe, alors nous sommes bien dans la situation suivante : nous sommes fondés à prédire l'existence d'une entité Γ' en vertu seulement de ses caractéristiques (relationnelles). Cet aspect du principe (PER) permet de rendre compte adéquatement de la prédiction d'une particule comme Ω^-, où c'est bien en vertu de la place qu'elle occupe dans la classe structurée des baryons 3/2, c'est-à-dire ses caractéristiques d'étrangeté et d'isospin, que sont existence est prédite.

Ceci nous permet de comprendre pourquoi la non-détection de l'entité attendue, qu'on ne détecte rien (cas (A)) ou qu'on détecte une autre entité de C, qui présente des caractéristiques non prédites par la représentation (cas (B)), fonde le rejet de la représentation M. Dans le premier cas, la non détection de l'entité invalide la prédiction, et donc toute la représentation d'où elle est tirée, selon un schéma standard de test empirique. Dans le second cas, où on détecte une particule qui ne trouve pas place dans la représentation, sa détection remet en cause l'ensemble de la représentation parce qu'elle nie le principe (a) selon lequel *tous* les éléments de C sont représentés dans M.

Troisièmement, (PER) est beaucoup moins vague que (PR) puisqu'il ne repose pas sur la notion de « similarité formelle » ni sur aucune notion de similarité (on a vu que chez Steiner, l'« analogie » signifiait en réalité la similarité). Nous avons vu à la section 2.3.1. que la prédiction d'Ω^- ne reposait pas sur une analogie, ni comme prédiction des caractéristiques, ni comme prédiction de l'existence de cette particule. Nous venons d'expliquer que la prédiction de l'existence de Γ' est fondée sur la prédiction de ses caractéristiques. Montrons alors seulement que cette dernière ne suppose plus aucun principe de similarité. Ω^- varie en étrangeté, masse, Isospin, etc., par rapport aux autres particules de la classe des baryons 3/2, et il n'a aucune caractéristique qu'il partagerait avec tous les autres baryons 3/2, et seulement avec eux. Par conséquent, ce n'est pas en vertu d'une similarité, mais bien plutôt en se fondant sur ses différences avec les autres baryons, qui sont décrites par les relations mathématiques structurales au sein de la représentation M, que sont prédites ses caractéristiques. Par conséquent, la prédiction des caractéristiques du référent physique de l'élément Γ' de M ne repose sur aucune similarité avec celles du référent connu de Γ, mais sur ses différences mathématiques avec eux, décrites et fixées par la

représentation mathématique M. Par conséquent, pour des éléments Γ et Γ', appartenir à la même structure M n'est pas partager une caractéristiques formelles communes, mais entrer dans les mêmes relations R, par lesquelles leurs caractéristiques diffèrent quantitativement.

Enfin, dernièrement, le plus important dans (PER) se loge dans la première condition, qui est une clause d'application. Nous n'avons le droit d'appliquer (PER) pour prédire les caractéristiques et l'existence d'entités physiques inconnues que si « *les relations R reflètent les relations réelles entre les éléments de C* ». C'est la présence de cette clause qui nous permet d'éviter le problème principal dont souffrait (PR), à savoir sa trop grande généralité et donc sa faillibilité. En effet, nous pensons qu'elle capture ce qui permet à ce principe d'être valide toutes les fois qu'il s'applique. Expliquons maintenant ce qu'elle contient et signifie.

3.2.L'application nomologique de (PER).

Dans cette section, nous montrons, à partir des deux cas de prédictions mathématiques étudiés, ce que signifie cette clause d'application de (PPR). En même temps, nous montrons que cette clause décrit précisément l'implication de connaissances ou d'hypothèses nomologiques d'arrière-fond concernant les relations physiques valant entre les entités de la classe étudiée. C'est donc finalement cela qui nous permettra de reconstruire ces prédictions en suivant le modèle Déductif-Nomologique : c'est, dans chacun des cas étudiés, une hypothèse nomologique que nous appellerons « énoncé nomologique de classification », qui légitime l'application de (PER) et fonde la prédiction.

3.2.1. La prédiction du positron.

Voyons comment le principe PER s'applique dans le cas de la prédiction existentielle du positron par Dirac. On se rappelle que son équation posséde quatre solutions. Deux d'entre elles correspondent à des électrons, particules de charge négative avec une énergie cinétique positive, qui peuvent avoir un spin positif ou un spin négatif. Les deux autres correspondent à des particules (de spins positifs et négatifs) chargées *positivement* mais dotées d'une énergie cinétique *négative*, de telle sorte qu'elles se comportent comme des particules de charge négative (des électrons « normaux »). Dirac les avait baptisées les « anti-électrons », qu'on appelle aujourd'hui « positrons ». On se rappelle aussi l'argument de Dirac pour reconnaître leur existence : on ne peut pas ignorer les solutions à énergies négatives sans faire apparaître une ambiguïté dans l'interprétation de la théorie, dans la mesure où, à orientation de spin fixée, le terme d'« électron » peut référer aussi bien à l'électron classique qu'à un anti-électron (avec la même orientation de spin).

Mais le plus intéressant maintenant est la façon dont il justifiait la possibilité de cette ambiguïté. Contrairement à ce qui est décrit dans une mécanique où les grandeurs varient de façon continue, il est

physiquement possible, en mécanique quantique, qu'une particule opère une transition discontinue d'un état d'énergie à un autre, et donc sauter au-dessus du segment]– mc^2 ; mc^2[des états qui ne peuvent pas être solutions de l'équation. Tout l'effort argumentatif de Dirac, pour motiver sa prédiction existentielle, vise à montrer qu'on n'a plus le droit d'ignorer ces solutions car que le changement de l'une à l'autre est *physiquement* possible. Nous reviendrons sur l'usage des modalités comme la possibilité physique. L'essentiel est que les solutions à énergie négative ne peuvent pas être ignorées parce que leurs relations mathématiques avec les solutions à énergie positive ont une interprétation physique dans la théorie. Elles correspondent à des changements physiques possibles, que Dirac appelle des « transitions ».

On sait depuis Dirac que la classe des solutions à son équation est en réalité structurée par la symétrie CP, où « CP » est le nom d'un groupe de transformations définies sur cette classe. C renvoie à l'opération de « Conjugaison de Charge », qui transforme une particule en son antiparticule[115] et inverse sa charge, tandis que P désigne l'opération de « Conjugaison de Parité » qui inverse l'orientation du spin de la particule (figure 5). Les transformations du groupe CP décrivent donc les transitions qui peuvent avoir lieu entre les états qui sont membres de la classe concernée.

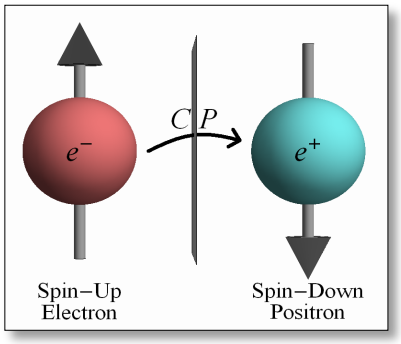


Figure 5 : symétrie CP électron/positron
(Source : Wikimedia Commons)

Le point décisif de l'argument de Dirac est le fait que certaines relations mathématiques (ici, le couplage des opérations C et P) ont une interprétation physique : elles décrivent des relations entre des états ou particules (caractérisées par leurs nombres quantiques) qui sont des changements physiques possibles. Ces relations mathématiques décrivent donc la structure d'une classe d'entités physiques.

A partir de là, voici comment on peut reconstruire le raisonnement prédictif de Dirac. On définit l'électron $e^-_\uparrow$ comme une particule de masse 9,1.10−31 kg, de spin ½ et de parité « up ». Il faut poser la

[115] Cette opération n'a donc pas pour seul effet d'inverser la Charge, si l'on entend seulement par cette grandeur la charge électrique. Plus généralement, elle est définie comme la quantité physique conservée en liaison avec la relativité de la phase des champs de matière, et désigne l'intensité du couplage dans l'interaction électromagnétique.

prémisse $E_{e_\uparrow^-}$: « L'électron $e_\uparrow^-$ existe ». On peut aussi poser en prémisse $E_{e_\downarrow^-}$, qui affirme que « L'électron $e_\downarrow^-$ existe ». « $e_\downarrow^-$ » désigne un électron avec une parité « down », c'est-à-dire un spin orienté vers le bas. Toute la question est de savoir comment justifier la conséquence de ces prémisses $E_{e_\uparrow^-}$ et $E_{e_\downarrow^-}$ à la conclusion : $E_{e_\uparrow^+}$ et $E_{e_\downarrow^+}$, c'est-à-dire que les particules positroniques $e_\uparrow^+$ et $e_\downarrow^+$ existent. Pour simplifier, nous allons négliger les particules $e_\downarrow^-$ et $e_\uparrow^+$, pour ne considérer que la paire $e_\uparrow^-$ et $e_\downarrow^+$ liée par la symétrie CP. Pour aboutir à la prédiction de l'existence de $e_\downarrow^+$, il faut introduire comme prémisse un énoncé conditionnel affirmant que si $E_{e_\uparrow^-}$ alors $E_{e_\downarrow^+}$, de telle sorte qu'on peut reconstruire le raisonnement suivant :

(1) Si $E_{e_\uparrow^-}$, alors $E_{e_\downarrow^+}$

(2) $E_{e_\uparrow^-}$

(3) Donc $E_{e_\downarrow^+}$

Évidemment, cet argument est valide mais totalement insatisfaisant en l'état, puisqu'il faut justifier la prémisse (1) qui semble totalement *ad hoc*. Pourquoi faudrait-il que le positron existe dès que l'électron existe ? C'est pour justifier cet énoncé qu'il faut appliquer le principe PER. Pour cela, posons quelques principes de traduction. Considérons une structure mathématique M construite pour représenter le système physique e/p (classe des électrons/positrons). M consiste globalement dans deux places $e_\uparrow^-$ et $e_\downarrow^+$, et leurs relations mathématiques comprises dans le groupe CP. Ici, « $e_\uparrow^-$ » ne désigne plus une entité physique mais une place dans la structure M. Posons que l'énoncé précédent $E_{e_\downarrow^+}$ « Le positron $e_\downarrow^+$ existe » est équivalent à l'énoncé $O_{e_\downarrow^+}$ « La place $e_\downarrow^+$ de la structure M a un référent physique dans e/p qui possèdent les caractéristiques adéquates décrites par $e_\downarrow^+$ ». Cette équivalence vaut aussi pour $E_{e_\uparrow^-}$ et $O_{e_\uparrow^-}$. Soit *E(CP)* l'extension des relations mathématiques CP. En remplaçant maintenant Γ par $e_\downarrow^+$, *C* par e/p, Γ' par $e_\uparrow^-$, alors on peut appliquer le principe PER et obtenir la prémisse (1') suivante, que l'on peut compléter pour construire le raisonnement suivant :

(1') si $e_\downarrow^+ \in E(CP)$ et $e_\uparrow^- \in E(CP)$ de M, et si ces relations CP reflètent les relations réelles entre les éléments de e/p, et que $O_{e_\uparrow^-}$, alors $O_{e_\downarrow^+}$.

(1'') $e_\downarrow^+ \in E(CP)$ et $e_\uparrow^- \in E(CP)$

(1'') Les relations CP reflètent les changements physiques possibles entre les éléments de e/p.

(1) Donc si $O_{e_\uparrow^-}$, alors $O_{e_\downarrow^+}$.

Reprenons alors le raisonnement de prédiction :

(1) Si $O_{e_{\uparrow}^{-}}$*, alors* $O_{e_{\downarrow}^{+}}$.

(2) $O_{e_{\uparrow}^{-}}$

(3) Donc $O_{e_{\downarrow}^{+}}$

Cette reconstruction du raisonnement déductif de prédiction est une reconstruction « à la Bangu », au sens où figure dans ses prémisses un principe prédictif général PER. Mais il y a deux différences avec la reconstruction proposée par Bangu. Premièrement, nous avons remplacé le principe analogique PR par le principe PER qui n'est pas fondé sur une analogie, mais est un principe d'extenson des relations. Mais surtout, deuxièmement, ce principe méthodologique ne figure pas tel quel, c'est-à-dire dans toute sa généralité, dans le raisonnement. Il est au contraire appliqué à la structure mathématique M et adapté à ses spécificités. C'est grâce à la présence dans son énoncé de la clause « *et si ces relations R reflètent les relations réelles entre les éléments de C* » qu'il fonctionne toutes les fois qu'il s'applique. Par conséquent, il ne peut pas souffrir du même problème que le principe analogique PR qui était trop général et faillible.

Néanmoins, nous émettions dans la discussion des thèses de Ginammi un doute sur le fait que les scientifiques, dans ces raisonnements de prédiction, raisonnent couramment dans les termes de la représentation M et des référents physiques de ses éléments. De plus, notre objectif est de montrer que les prédictions mathématiques peuvent être parfaitement analysées dans le cadre du modèle DN, où les énoncés nomologiques qui fondent les conclusions prédictives portent sur des lois de la nature et non la représentativité des structures mathématiques. Comme nous venons de voir comment traduire les énoncés d'existence portant sur les entités physiques (les électrons et positrons) en énoncé portant sur la représentativité des places d'une structure, il est possible de faire la traduction inverse. C'est pourquoi nous allons offrir une dernière version du raisonnement prédictif, où les prémisses portent directement sur les entités physiques et leur existence. Considérons donc le conditionnel suivant, que nous plaçons au fondement de la prédiction : « Si la particule $e_{\uparrow}^{-}$, qui est membre de la classe e/p structurée par des relations décrites par CP existe, alors la particule $e_{\downarrow}^{+}$ qui est membre de la même classe existe ». Néanmoins, il ne semble pas essentiel à cette loi que nous ayons d'abord découvert l'électron, avant de prédire et de détecter le positron. Dans un monde où la symétrie originelle entre matière et antimatière a été brisée en faveur de (ce qui est pour nous de) l'anti-matière, qui ferait figure de matière standard, on aurait probablement commencé à détecter le positron avant de prédire et de détecter l'électron. Nous allons donc en donner une version légèrement plus générale, dans la mesure où l'ordre de la *découverte* des membres de la classe e/p ne change rien à la valeur justificatrice de l'énoncé :

(1) Pour tout Γ, si l'entité Γ qui est membre de la classe e/p (structurée par les relations décrites par CP) existe, alors toutes les autres entités Γ' membres de cette classe existent.*
(2)* $e_{\downarrow}^{+} \in e/p$, $e_{\uparrow}^{-} \in e/p$ *et* $e_{\uparrow}^{-}$ *existe*
(3) Donc* $e_{\downarrow}^{+}$ *existe*

Nous en arrivons donc à la conclusion principale de cette étude. Le raisonnement (1*)-(3*) ci-dessus entre parfaitement dans le modèle DN de prédiction, où (1*) est un énoncé nomologique, (2*) l'énoncé de conditions initiales et (3*) la prédiction (existentielle). Il reste à justifier de traiter (1*) comme un énoncé nomologique. Il a bel et bien la forme d'un énoncé universellement quantifié, et d'une implication matérielle, mais le plus important est qu'il porte bien sur un aspect nomique de la réalité : les entités d'une certaine classe e/p décrite par le groupe de relations CP existent toutes ou bien aucune n'existe. Donc si une existe, toutes les autres existent également. Ce type d'énoncé nomologique joue un rôle crucial dans les domaines de la physique fondamentale où il s'agit de classer des entités plus ou moins élémentaires. Lorsque ces entités sont classées dans une structure mathématique, et que leurs caractéristiques sont déterminées par les *places* qu'elles occupent au sein de la structure, alors un énoncé comme (1*) ou (1') est nomologique en ce qu'il affirme la validité générale de cette classification pour les entités de notre monde. On peut l'appeler un « énoncé nomologique de classification ».

Ceci suggère une dernière remarque, qui montrera plus tard son importance. On pourrait en effet se dire que si (1*) est un énoncé nomologique de classification, et comme nous savons que *Γ* existe (ici, l'électron), alors nous pouvons passer de la *forme conditionnelle* à une forme *existentielle absolue* (1**) de cet énoncé de classification. Sous cette forme, l'énoncé nomologique affirme purement et simplement que la classe e/p entière des entités physiques, structurées par les relations décrites par CP, existe :

(1**) $e_{\uparrow}^{-} \in e/p$ *et* $e_{\uparrow}^{-}$ *existe,* $e_{\downarrow}^{+} \in e/p$ et $e_{\downarrow}^{+}$ existe, etc.

Cet énoncé est une conjonction d'énoncés existentiels qui affirment l'existence de tous les membres de la classe e/p structurée par les relations décrites par CP, c'est-à-dire l'existence de la classe structurée. Et cette existence est affirmée sans condition, parce que c'est le cas dans notre monde que la classe de ces entités existe. On pourrait tout simplement dire : dans notre monde, cette classification d'entités est le cas. On s'aperçoit alors que la prédiction de l'existence de tout membre de cette classe, comme le positron, prend une forme à la fois logiquement triviale et en même temps épistémologiquement cruciale :

(1**) $e_{\uparrow}^{-} \in e/p$ *et* $e_{\uparrow}^{-}$ *existe,* $e_{\downarrow}^{+} \in e/p$ et $e_{\downarrow}^{+}$ existe, etc.
(3**) Donc $e_{\downarrow}^{+} \in e/p$ et $e_{\downarrow}^{+}$ existe.

Ce raisonnement est logiquement trivial, parce qu'il a la forme : $p \wedge q \vdash p$. Il est en tous les cas valide. Mais il a une grande importance épistémologique, car il capture ce en quoi consiste exactement selon nous un raisonnement qui aboutit à la prédiction d'une entité physique jusqu'ici inconnue : la prédiction que cette entité existe dans le monde est déduite de l'énoncé affirmant qu'une classification, dont cette entité est membre, est le cas dans notre monde. Comme un énoncé nomologique de classification, sous sa forme existentielle absolue, affirme l'existence d'une classe d'entités structurées d'une façon décrite par la représentation mathématique, on peut trivialement en déduire l'existence de chacune de ces entités telles que décrite par la représentation mathématique. Les prédictions existentielles étudiées par Steiner, Bangu et Ginammi, sont parfaitement fondées sur des énoncés nomologiques, on peut analyser le raisonnement prédictif dans le cadre du modèle DN, où c'est un énoncé de classification qui joue le rôle de fondement nomologique pour les prédictions. Ces prédictions sont mathématiques dans la stricte mesure où les relations qui structurent la classification sont des relations mathématiques. Mais en dernière analyse, les prédictions ne sont pas fondées sur des considérations purement mathématiques, au sens où on dériverait l'existence d'une entité physiquement seulement d'une représentation mathématique. Cette dérivation n'est possible que sous l'hypothèse que la représentation mathématique décrit adéquatement une classe d'entités physiques existantes, et nous avons montré que cette hypothèse classificatoire est de nature nomologique.

Nous devons faire une dernière remarque sur le raisonnement (1**)-(3**). Il entre dans le cadre du modèle DN, dans la mesure où une prédiction est déduite d'un énoncé nomologique, mais il se présente néanmoins comme un cas limite de ce modèle, où les prémisses énonçant les conditions initiales ont disparu. La disparition de ces conditions initiales n'a peut-être pas de grande signification épistémologique, puisqu'elle est un effet direct du passage de la forme conditionnelle de l'énoncé de classification à sa forme existentielle absolue. Comme l'énoncé nomologique (1**) n'est plus un conditionnel, il n'y a pas besoin de poser de conditions en prémisses. D'un point de vue épistémologique, ce fait marque simplement la spécificité des énoncés nomologiques de classification par rapport, par exemple, à des énoncés nomologiques du type « Pour tout x, F(x) → G(x) ». Mais nous allons voir tout à l'heure que ce fait a de fortes conséquences ontologiques, dans la mesure où il nous permettra de plaider en faveur d'un régularisme des lois.

3.2.2. La prédiction d'Ω^-.

Montrons maintenant comment PER nous permet de rendre compte également du caractère nomologique de la prédiction d'Ω^-. Mais en même temps, ce cas nous permet de répondre à une objection que peut susciter le traitement précédent de la prédiction du positron.

En effet, l'argumentation de Dirac montre que pour des raisons physiques, des particules similaires en masse et en spin aux électrons, mais dans des états d'énergie négative, peuvent exister dans la mesure où les lois de la physique quantique permettent des transitions discontinues qui peuvent engendrer ces particules non-classiques. Mais on ne voit pas bien pourquoi ces « anti-électrons », dont l'existence est physiquement *possible* et qui, s'ils existaient, auraient les caractéristiques prédites par la représentation mathématique M, *devraient* exister dès lors que les électrons existent. Ne pourrait-on pas concevoir un monde possible où les électrons existent et sont tels que les décrit M, mais où leur antiparticules n'existent pas ? Ce serait un monde où les thèses méthodologiques de Ginammi fonctionneraient bien, dans la mesure où on pourrait y conserver la structure M même si elle est seulement partiellement interprétable. Et il est clair que Dirac a pendant un temps envisagé que ce soit le cas, avant de chercher décidemment un référent physique pour les solutions à énergie négative de son équation. Autrement dit, le problème est que dans cet exemple, l'énoncé nomologique de classification n'est pas bien justifié, dans la mesure où on ne voit pas pourquoi *toutes* les entités de la classe e/p *devraient* exister si une existe, ou, pour le dire en termes de représentation, pourquoi la structure *devrait* être entièrement interprétable dès qu'elle est partiellement interprétée.

On s'aperçoit que cette objection a une dimension modale, sur laquelle nous reviendrons par la suite. Elle consiste à dire que ce n'est pas parce qu'une entité est physiquement *possible*, dans la mesure où son existence (comme référent physique d'une place dans une représentation mathématique) est autorisée par les lois de la nature telles que les décrit une théorie, qu'elle *existe effectivement* dans le monde physique. On n'aurait alors pas du tout le droit de prendre la représentation mathématique comme une « route vers la réalité »[116], sauf à entretenir une foi pythagoricienne dans un mystérieux pouvoir des mathématiques. Pourquoi la structure mathématique devrait-elle être entièrement interprétable dès qu'elle l'est partiellement ? Pourquoi, si au moins une entité physique décrite par la classification mathématique existe, toutes les autres devraient aussi exister ?

Il est sans doute possible de répondre à l'objection dans le cas du positron, et de justifier l'énoncé nomologique de classification des particules et antiparticules, en expliquant comment le principe de symétrie CP est interprété comme décrivant des relations physique *réelles* entre des particules et leurs antiparticules. Mais cette justification aurait un caractère rétrospectif, dans la mesure où elle n'était pas parfaitement connue du temps de Dirac. Il sera plus intéressant de passer directement au cas de la classification des baryons 3/2 et de la prédiction d'Ω^-, car la justification de l'énoncé nomologique de classification y est explicite. Après l'expérience de Berkeley, les scientifiques ont rejeté la représentation à 27 membres du groupe de symétries SU(3). Si ce rejet est justifié, comme les scientifiques l'ont pensé, c'est que la classification des baryons 3/2 dans un 27-uplet impliquait que si certains membres de ce 27-uplet existaient, alors *tous* devaient être le cas. En interprétant les particules Δ, $\sum$ et Ξ déjà observées

[116] Pour reprendre le titre du livre de (Penrose, 2004).

comme des membres de ce 27-uplet, l'existence de ces membres devrait entraîner l'existence de *tous* les autres membres. De cette façon, l'inexistence d'un seul de ces membres, comme la particule Θ^+ attendue, entraîne la réfutation et le rejet légitime de toute la représentation à 27 membres.

C'est donc que pour les physiciens des particules, un énoncé nomologique de classification du même type que (1*) ci-dessus était au fondement de leur prédiction d'Ω^-. Il faut donc se référer aux raisons pour lesquelles Gell-Mann et Ne'eman, qui ont séparément jeté les bases mathématiques et physiques de la classification des mésons et hadrons (la théorie connue sous le nom de « la voix octuple » (Gell-Mann, 1961)), pensaient que les baryons devaient former des familles d'un nombre déterminé de membres, 1, 8, 10 ou 27. L'hypothèse fondamentale de la théorie classificatoire de la voix octuple est que les baryons 3/2 sont des compositions et combinaisons différentes de 8 caractéristiques quantiques conservées par les transformations du groupe SU(3)[117]. C'est ce nombre « 8 » qui est directement responsable du fait que les représentations irréductibles du groupe SU(3) ne pouvaient être que de dimensions déterminées : « selon le formalisme de SU(3), des supermultiplets de 1, 8, 10 et 27 membres étaient autorisés » (Ne'eman, p202). Au fondement de cette assertion, on trouve un résultat purement géométrique issu de la théorie mathématique des représentations de groupes, concernant la décomposition des produits de tenseurs. Intuitivement, il signifie que les représentations générées par des compositions des 8 caractéristiques fondamentales ne peuvent contenir que 1, 8, 10 et 27 membres. Par conséquent, il faut représenter (au sens de la représentation scientifique) les familles de baryons 3/2 par des multiplets contenant un nombre déterminé de membres[118]. Comment pouvons-nous maintenant intégrer ces nouveaux éléments pour formuler un énoncé de classification nomologique capable de fonder la prédiction d'Ω^- ? Nous proposons :

(4) Pour tout Γ, si Γ qui est membre du 27-uplet de baryons 3/2 (structuré par les relations décrites par SU(3)) existe, alors toutes les autres entités Γ' membres de ce 27-uplet existent.*
(5) Pour tout Γ, si Γ qui est membre du décuplet de baryons 3/2 (structuré par les relations décrites par SU(3)) existe, alors toutes les autres entités Γ' membres de ce décuplet existent.*

Il est alors aisé de reconstruire le raisonnement qui mène à la prédiction de l'existence de Θ^+, et donc à la réfutation de l'hypothèse du 27-uplet :

---

[117] Ces caractéristiques sont appelés, dans le vocabulaire mathématique des représentations de groupes, les « générateurs infinitésimaux » du groupe SU(3). Voir (Ne'eman, 1999, p. 200).
[118] Les théoriciens de la voie octuple ne proposaient d'abord ces principes que comme des schèmes de classification : ils voulaient trouver la figure géométrique adéquate (singulet, octet, décuplet, etc.) pour représenter les membres symétriques d'une même famille baryonique (et mésonique). La « voix octuple » était une proposition pour organiser de façon cohérente et systématique notre représentation des baryons, sans que les principes de cette organisation (la compositions des 8 caractéristiques) n'aient de signification physique. La signification et l'explication physiques de ces figures géométriques est venue dans un second temps, avec la théorie des quarks (Griffiths, 2008, p. 37).

(4) Pour tout Γ, si Γ qui est membre du 27-uplet de baryons 3/2 (structuré par les relations décrites par SU(3)) existe, alors toutes les autres entités Γ′ membres de ce décuplet existent.*
(4') les particules Δ, ∑ et Ξ sont membres de ce 27-uplet, et elles existent.*
(4'') Θ^+ est membre de ce 27-uplet*
(4'''') Donc Θ^+ existe*

Ensuite, l'hypothèse est rejetée par simple *modus tollens*. Comme l'expérience de Berkeley montre que Θ^+ n'existe pas, on en conclut que la conjonction de (4*) et (4*') est fausse, et que par conséquent la représentation des baryons 3/2 dans un 27-uplet n'est pas adéquate. Comme cette conjonction équivaut à l'énoncé de classification sous sa forme existentielle absolue, on peut écrire ainsi le résultat de réfutation :

(4**) *Il n'existe aucun Γ qui est membre du 27-uplet de baryons 3/2 (structurée par les relations décrites par SU(3)).*

Reconstruisons de la même façon le raisonnement prédictif qui mène à la prédiction d'Ω^- :

(5) Pour tout Γ, si Γ qui est membre du décuplet de baryons 3/2 (structuré par les relations décrites par SU(3)) existe, alors toutes les autres entités Γ′ membres de ce décuplet existent.*
(5') les particules Δ, ∑ et Ξ sont membres de ce décuplet, et elles existent.*
(5'') Ω^- est membre de ce décuplet*
(5'''') Donc Ω^- existe*

L'observation d'Ω^- deux ans plus tard prouve expérimentalement que la prédiction était vraie. Mais surtout la prédiction est *fondée* sur un énoncé nomologique, et donc elle est vraie en vertu de ce qui rend vrai l'énoncé nomologique qui la fonde. Autrement dit, la vérité de la prédiction existentielle d'Ω^- est fondée sur la vérité de la classification qui en fait le sommet de la pyramide des dix baryons.

Maintenant, et compte tenu des hypothèses au fondement de la voie octuple, nous sommes en mesure de comprendre pourquoi les énoncés de classification nomologique (4*) et (5*) étaient justifiés (avant l'expérience de Berkeley), et pourquoi si au moins une entité physique décrite par la classification mathématique existe, toutes les autres devraient aussi exister. (4*) et (5*) sont en effet obtenus en appliquant le principe général PER au cas de la classification des baryons 3/2.

Prenons en particulier l'énoncé (4*) qui décrit la classification des baryons en un 27-uplet. D'après (4*), il faut et il suffit pour que Θ^+ existe qu'il soit membre du même 27-uplet de baryons 3/2, structuré par les relations décrites par SU(3), que les particules existantes et déjà connues. Par conséquent, au fondement de la prédiction de son existence, il y a l'hypothèse selon laquelle les relations

décrites par SU(3) sont les relations physiques réelles entre les membres de la famille des baryons 3/2. C'est cela qui permet l'application du principe PER à cette famille et la formulation de l'énoncé nomologique de classification (4*). Plus précisément, dans l'hypothèse où cette famille contient 27 membres, on postule que cette famille est structurée par des relations décrites non par le groupe SU(3) lui-même, mais par une représentation de ce groupe, le groupe linéaire de SU(3) qui engendre une représentation à 27 membres, et que nous noterons 27-SU(3). En faisant l'hypothèse que c'est le groupe 27-SU(3) qui structure la famille des baryons 3/2, on postule que toute particule de cette famille *est en relation R* avec n'importe quelle autre de cette même famille (en conservant les grandeurs quantiques adéquates pour que la symétrie vis-à-vis de l'interaction forte soit respectée), et que R est une transformation (ou une composition linéaire de transformations) appartenant à 27-SU(3). Autrement dit, l'hypothèse nomologique de classification (4*) postule que les relations 27-SU(3) reflètent adéquatement (*mirror*) les relations physiques entre les baryons 3/2, et que c'est cette classification et non une autre (comme le décuplet engendré par le groupe linéaire 10-SU(3)) qui vaut dans ce monde.

Or si la famille de baryons 3/2 est bien structurée par des relations adéquatement décrites par 27-SU(3), alors cela implique que cette famille contient précisément 27 membres (et que ces membres ont les caractéristiques décrites et déterminées par ces relations). C'est parce que ces relations sont postulées comme étant le cas et structurant ainsi cette famille, que cette famille doit avoir précisément 27 membres. C'est pourquoi les prédictions existentielles comme celle de la particule Θ sont parfaitement fondées sur cette énoncé nomologique de classification. On répond donc ainsi à l'objection soulevée ci-dessus : l'énoncé (4*) décrit bien une forme de solidarité d'existence entre les entités de la famille de baryons 3/2 (ou bien elles existent toutes, ou bien aucune n'existe), parce que cet énoncé nomologique porte avant tout *sur les relations* (transformations d'un groupe linéaire) qui sont le cas entre les membres de cette famille, en conformité avec le principe PER.

Ce résultat implique deux conséquences qu'il est utile de souligner pour montrer le contraste avec le traitement porté par Ginammi. Premièrement, la prédiction fausse de Θ^+ est fondée *en même temps* que d'autres prédictions, et non isolément. Contrairement à ce qu'avançait Ginammi, il n'est pas possible de traiter les places d'une structure une par une, et de faire des hypothèses séparées sur l'existence de leurs référents. Cela signifie qu'on ne prédit pas simplement que Θ^+ existe, mais qu'elle existe comme membre du 27-uplet et donc avec 26 autres. Pour le voir, il est utile de reformuler l'énoncé nomologique de classification (4*) sous sa forme existentielle absolues[119] :

*(4**) Pour tout* $x \in \{\Theta^+, \Theta^+, \Theta^+, \Delta^-, \Delta^0, \Delta^+, \Delta^{++}, \Sigma^{*--}, \Sigma^{*-}, \Sigma^{*0}, \Sigma^{*+}, \Sigma^{*++}, \Xi^{*--}, \Xi^{*-}, \Xi^{*0}, \Xi^{*+}, \Omega^{--}, \Omega^-, \Omega^+, \ldots\}$, *x existe et* $27\text{-}B^{3/2}(x)$.

[119] Dans l'énoncé suivant, on ne dénombre que 19 résonances sur les 27 du 27-uplet, c'est-à-dire seulement celles qui sont lisibles sur le plan SxI_3.

Soient les prédicats suivants : 10-$B^{3/2}(x)$ signifie que l'entité x appartient au décuplet de baryons 3/2, et 27-$B^{3/2}(x)$ signifie que x appartient au 27-uplet de baryons 3/2. En 1962, neuf résonances étaient déjà connues, mais on ne savait pas dans quel multiplet elles s'inséraient. L'hypothèse nomologique exprimée par (4**) affirme qu'elles appartiennent au 27-uplet de baryons 3/2, et qu'elles y existent à côté de 18 autres. Par conséquent, il n'est pas possible de considérer fondée la prédiction que l'une de ces 18 autres particules (comme Θ^+) existe, sans tenir en même temps pour aussi fondée la prédiction que toute autre particule parmi ces 18 autres (comme Ω^+) existe aussi. Contrairement donc à ce qu'affirme Ginammi, on ne peut pas faire une hypothèse sur l'existence d'un référent physique pour une place isolée dans la structure mathématique M.

Deuxièmement, il devient impossible de considérer que la représentation par le 27-uplet ne fait qu'« ajouter » des membres à la familles des baryons 3/2 représentée par un décuplet. En effet, mêmes les neuf particules $\{\Delta^-, \Delta^0, \Delta^+, \Delta^{++}, \Sigma^{*-}, \Sigma^{*0}, \Sigma^{*+}, \Xi^{*-}, \Xi^{*0}\}$ qui pourraient appartenir aux deux multiplets ne sont pas conçues de la même manière si elles sont membres du décuplet ou bien membres du 27-uplet. Savoir qu'elles entrent dans un décuplet et non dans un 27-uplet, c'est bien savoir quelque chose d'elles. Pour une particule Δ^+ par exemple, qui est membre du décuplet, elle n'a pas seulement pour caractéristiques une étrangeté nulle, une charge valant +1 et un isospin +1/2, mais aussi celle d'être membre d'une famille de 10 baryons. Elle n'aurait pas été la même particule, si en outre de ses caractéristiques quantiques (étrangeté, charge, isospin, etc.) elle avait été membre d'un 27-uplet. Cela signifie que Δ^+ n'est pas la même particule dans un monde où elle est membre d'un décuplet que dans un monde où elle est membre d'un 27-uplet. Une façon de le comprendre est de considérer que les lois de la nature dont elles sont les instances ne sont pas les mêmes, et que les relations SU(3) décrites par ces lois ne sont pas les mêmes : elles sont 10-SU(3) ou bien 27-SU(3). On le montre en transformant les énoncés nomologiques de classification ci-dessus en leur forme existentielle absolue. On a alors ces deux énoncés classificatoires (4**) et :

(5**) Pour tout $x \in \{\Delta^-, \Delta^0, \Delta^+, \Delta^{++}, \Sigma^{*-}, \Sigma^{*0}, \Sigma^{*+}, \Xi^{*-}, \Xi^{*0}, \Omega^-\}$, x existe et 10-$B^{3/2}(x)$.

On voit que ces deux énoncés classificatoires affirment de Δ^+ des propositions différentes, car (4**) dit que 27-$B^{3/2}(\Delta^+)$, tandis que (5**) dit que 10-$B^{3/2}(\Delta^+)$. Ainsi, cette particule Δ^+ n'est pas la même selon qu'elle est instance de l'énoncé nomologique de classification (4**) ou instance de l'énoncé (5**). Notre thèse est que si l'expérience de Berkeley est légitimement interprétée comme l'ont fait les physiciens de l'époque, à savoir comme rejetant l'hypothèse du 27-uplet, alors c'est qu'elle a montré également que 27-$B^{3/2}(\Delta^+)$ était faux, et que pour toute particule x qui est un baryon 3/2, 27-$B^{3/2}(x)$ était faux. Les prédicats 10-$B^{3/2}(.)$ et 27-$B^{3/2}(.)$ dénotent dans les hypothèses nomologiques de classification (5**) et (4**) ce que nous avons appelé au-dessus des « grandeurs existentielles » ; ici, l'utilisation de

ces prédicats signifie qu'il peut être vrai ou faux de dire d'une particule comme Δ^+ qu'elle appartient à une famille de 27 membres (ou de 10 membres).

Dans cette section 3., nous avons tenté de montrer que, contrairement à ce que pense Bangu, les prédictions mathématiques existentielles sont fondées par des énoncés nomologiques, en conformité avec le modèle DN de prédiction. Le premier résultat de ces analyses est la disparition de tout principe analogique au fondement des prédictions mathématiques. Un examen attentif et une reconstruction minutieuse du raisonnement de justification des prédictions nous montrent que si les physiciens semblent « lire » l'existence et les caractéristiques d'une entité nouvelle à partir de la structure mathématique, c'est à partir d'une supposition préalable, qui est de nature nomologique. Ils supposent que la représentation mathématique décrit les relations ou transformations physiques réelles qui structurent une classe d'entités étudiées. Nous avons ensuite expliqué que cette supposition était de nature classificatoire : tenir une structure mathématique pour une représentation parfaitement adéquate d'une classe d'entités, c'est affirmer que ses propriétés mathématiques nous donnent les clefs de l'organisation et de la classification de ces entités.

Il n'y a donc pas de principe analogique général qui serait au fondement des prédictions mathématiques existentielles. En revanche, les différents énoncés nomologiques de classification, qui postulent l'adéquation parfaite d'une représentation mathématique, nous semblent être des applications particulières d'un principe épistémologique général. Ce n'est pas ce principe lui-même qui fonde les prédiction (contrairement à ce qu'est supposé faire PR dans la reconstruction de Bangu), mais les énoncés de classification en sont des applications légitimes. Ce principe général, nous l'avons appelé « Principe d'Extension des Relations ». Il nous semble être la formule qui guide les physiciens dans leurs prédictions, qui déduisent la nature et l'existence d'entités nouvelles à partir du faisceau de relations dans lequel elles entrent. Or ce principe a une portée ontologique évidente : s'il est valide, c'est que l'existence et les caractéristiques d'une entité physique sont déterminées relationnellement. Passons donc maintenant aux conditions ontologiques de ce principe.

4. Les conditions ontologiques de l'application objective des mathématiques pour les prédictions.

Nous souhaitons maintenant montrer que l'applicabilité des mathématiques, dans les prédictions, implique l'ontologie des lois proposée au chapitre précédent comme sa condition de possibilité. Les mathématiques sont appliquées ici au sens où on suppose qu'il existe bien des prédictions mathématiques (que Bangu appelle des « prédictions non-standards »). Le problème général de la prédiction est de savoir comment elles sont fondées, et le modèle DN nous apporte une solution : une prédiction est fondée si elle est déductible d'une énoncé nomologique. Appliqué aux prédictions

mathématiques, il nous demandait donc d'exhiber sur quel type d'énoncé nomologique elles sont fondées. C'est précisément cela que nous appelons l'application *nomologique* des mathématiques.

La démarche de cette section est de dériver les conséquences ontologiques du fondement général que nous avons découvert pour ces prédictions mathématiques, à savoir le principe (PER). Que présuppose, en termes d'ontologie des lois et de leurs instances, qu'un principe comme (PER) soit valide ? Nous voulons montrer que c'est précisément l'ontologie des lois proposées précédemment qui est impliquée par ce principe. Ainsi, nous aurons bien montré que l'application des mathématiques dans la prédiction nomologique implique cette ontologie des lois. Mais avant de faire cette dérivation, il faut lever deux obstacles importants.

4.1.Pourquoi ces prédictions sont-elles « mathématiques » et « existentielles » ?

En effet, nous avons montré que ces prédictions peuvent être fondées au sens posé par le modèle DN, c'est-à-dire déductibles d'énoncés nomologiques appartenant aux théories physiques pertinentes et acceptées. Mais alors on peut se demander ce qui en fait encore des prédictions « non-standards » et pourquoi il faudrait alors en faire des cas inhabituels d'application des mathématiques. Le premier problème est donc d'expliquer pourquoi il est encore justifié de les appeler des prédictions « mathématiques ». Le second obstacle est un manque de généralité. Nous avons proposé (PER) comme fondement des prédictions *existentielles*, et si nous dérivons une ontologie des lois de la nature à partir de ce principe, cette conclusion ne vaudra finalement que dans le cadre limité des lois fondant la vérité de ce type de prédiction. Nous allons donc esquisser un moyen de généraliser considérablement la portée de cette conclusion.

4.1.1. A quoi servent les mathématiques appliquées dans ces prédictions ?

Si les prédictions mathématiques sont fondées sur un énoncé nomologique appartenant à la théorie physique, alors on ne voit plus quel est le rôle des mathématiques dans cette prédiction. En effet, nous avons bien une structure mathématique M qui sert de support à la prédiction, car c'est sur elle qu'on applique (PER). Mais M est interprétée physiquement, puisqu'on postule avec (PER) qu'elle décrit la structure d'une classe d'entités physiques. L'énoncé nomologique de classification qui résulte de (PER) décrit mathématiquement une structure physiquement interprétée. Donc si on ne souligne pas quel est le rôle précis des mathématiques dans la formulation de cet énoncé, alors notre argument à partir de l'application des mathématiques ne tient pas. En quoi les prédictions existentielles sont-elles encore des prédictions *mathématiques* ?

En premier lieu, les mathématiques jouent un rôle « descriptif intrinsèque » dans la formulation de ces énoncés nomologiques. On parle du rôle descriptif des mathématiques lorsqu'elles contribuent à

exprimer les propriétés des systèmes physiques et se montrent particulièrement efficaces pour capturer les propriétés impliquées dans des régularités phénoménales. En laissant provisoirement de côté ce second aspect, l'efficacité descriptive des mathématiques peut se définir plus précisément comme le fait que les concepts mathématiques sont utilisés dans la formation des concepts physiques empiriquement adéquats. Le cas de la mesure est un bon exemple : le concept mathématique d'additivité est utile, et peut-être indispensable, pour former le concept physique d'une grandeur comme la Masse. En termes représentationnels, l'efficacité descriptive des mathématiques signifie que les traits structuraux des représentations des phénomènes physiques sont mathématiques. Nous avons vu l'exemple des relations mathématiques décrites par la théorie des représentations de groupes, qui sont utilisées, et peut-être indispensables, à la construction de la représentation scientifique (sous la forme d'une classification géométrique) d'une classe de particules comme les baryons, les leptons, etc. Les mathématiques permettent donc de décrire efficacement des propriétés et relations physiques.

Pour souligner le rôle central des mathématiques dans les *descriptions*, et le distinguer de rôles différents (techniques, computationnels, etc.), Pincock parle de rôle « intrinsèque » des mathématiques dans les représentations :

> Les mathématiques intrinsèques à une représentation scientifique sont les mathématiques utilisés directement pour spécifier comment un système doit être pour que la représentation soit correcte. Si notre représentation utilise des équations pour décrire la dynamique d'un système, par exemple, les mathématiques utilisées pour formuler ces équations sont intrinsèques. Toutefois, d'autres utilisations des mathématiques sont extrinsèques. Par exemple, les mathématiques utilisées pour dériver et appliquer ce système d'équations peuvent être assez différentes des mathématiques impliquées dans les équations elles-mêmes. En se fondant sur notre discussion du contenu [des représentations], il devrait être clair que les mathématiques intrinsèques sont ce qui apparaît dans la structure mathématique impliquée dans le contenu. Toute autre part des mathématiques qui dépasse cette utilisation structurelle est donc qualifiée d'extrinsèque. (Pincock, 2012, p. 37)

En suivant Pincock, nous parlons ici des mathématiques intrinsèques à une représentation scientifique, c'est-à-dire les mathématiques participant à dire ce que doit être le système physique visé pour que la représentation soit adéquate. Dans les termes structuralistes de Pincock, cela désigne les aspects mathématiques de la structure M qui sont interprétables physiquement. C'est en cela que les mathématiques jouent un rôle descriptif essentiel.

Nous pouvons aller plus loin. Non seulement les énoncés nomologiques de classification décrivent des structures où les mathématiques ont ce rôle descriptif intrinsèque, mais le caractère *nomologique* de ces énoncés vient précisément de ce rôle qu'y jouent les mathématiques. Ce qui fait que des prédictions sont *mathématiques* n'est pas simplement qu'elles sont tirées d'énoncés nomologiques où les mathématiques ont un rôle descriptif, mais surtout que la nomologicité de ces énoncés vient des

propriétés structurelles décrites par ces mathématiques. Dans la section précédente, nous avons en effet expliqué que c'est en décrivant *les bonnes relations physiques* entre les entités visées que les représentations mathématiques peuvent servir de fondement pour les prédictions de ces entités. Or « nomologique » signifie, en son sens ici épistémologique, que l'énoncé ou la représentation peut servir de fondement pour une prédiction. Donc les mathématiques sont ici directement responsables du caractère nomologiquement fondé de ces prédictions, car elles permettent de décrire les structures relationnelles des classes d'entités physiques visées.

Ainsi, nous parlons de prédictions fondées sur les mathématiques mais en désignant par là un fait épistémologique entièrement différent de ce que Steiner a en tête, et peut-être aussi Bangu qui reprend, pour le critiquer, le principe analogique. Pour Steiner, les mathématiques supportent nos prédictions en faisant l'objet d'une confiance *pythagoricienne* dans leur pouvoir descriptif général. Le caractère « déraisonnable » de l'efficacité des mathématiques vient alors du fait que, selon Steiner, nous nous appuyons sur les mathématiques pour des raisons purement esthétiques. Les concepts et théorèmes mathématiques utilisés satisferaient particulièrement des critères de beauté formelle relatifs à la conformation de l'esprit humain. Le mystère serait alors que ces critères totalement anthropocentriques puissent passer pour des critères d'applicabilité des mathématiques dans les prédictions. Mais il n'est pas besoin de faire autant de mystère pour comprendre l'efficacité des mathématiques. Il suffit d'examiner comment leur pouvoir descriptif permet de fonder ces prédictions, en justifiant des classifications nomologiques des entités et phénomènes physiques[120].

4.1.2. Une simplification du modèle DN.

Le second obstacle est le manque de généralité des cas d'application des mathématiques dont nous partons, puisqu'ils ne concernent que les prédictions *existentielles*. Si nous avons raison, que ces prédictions sont fondées sur des énoncés nomologiques de classification, alors l'ontologie des lois de la nature ne pourra valoir que pour les lois désignées par ces énoncés spécifiques. Mais nous ne pourrons rien conclure pour les lois désignées par les énoncés nomologiques en général, ou du moins, pour tous

[120] La reconnaissance du pouvoir du langage mathématique pour décrire les structures des systèmes ou classes d'entités physiques n'implique pas que les mathématiques soient une science des structures, comme thèse d'ontologie des objets mathématiques. Notre thèse concerne uniquement l'applicabilité des mathématiques au monde physique et à ses conditions ontologiques de possibilité concernant ce monde physique. Nous allons tenter de montrer que cette applicabilité implique que les mathématiques décrivent ses structures quantitatives. (Islami, 2016) procède à cette « démystification » du pouvoir des mathématiques en suivant cette même thèse structuraliste. Elle montre que Wigner, en parlant de « déraisonnable efficacité » des mathématiques, offrait en même temps des pistes pour l'expliquer et dissiper les apparences de mystères. Comment expliquer cette efficacité, apparemment si « déraisonnable » ? Islami distingue deux questions. D'abord, pour quelle raison qui a trait à la physique contemporaine les mathématiques sont-elles si efficaces descriptivement ? Elle montre que la physique contemporaine recherche des régularités parmi les phénomènes en tachant de découvrir les structures physiques invariantes, et que ces structures sont bien décrites par les mathématiques. L'applicabilité des mathématiques a donc en partie des raisons physiques. Elle ajoute une deuxième question : pourquoi les mathématiques sont-elles un langage si adéquat pour décrire ces structures quantitatives ? Et c'est cette question seulement, que nous ne posons pas ici, qui implique une enquête ontologique concernant les objets des mathématiques elles-mêmes.

les énoncés nomologiques où les mathématiques sont appliquées, parce que nous ne parlons pas des prédictions mathématiques non-existentielles. Or c'est le cas de la plupart des énoncés nomologiques dans les théories physiques, qui sont exprimés sous la forme d'équations mathématiques reliant des grandeurs physiques. C'est pourquoi nous voulons suggérer un moyen d'étendre le raisonnement et ses conclusions à ces énoncés nomologiques-là, en expliquant qu'ils servent de fondement à des prédictions mathématiques qui ont les mêmes caractéristiques que les cas étudiés jusqu'ici.

Demandons-nous d'abord s'il y a un lien particulier entre le fait que ces prédictions soient mathématiques, et leur caractère existentiel. Un tel lien est présupposé dans la littérature sur le sujet, dans la mesure où l'impression d'une « déraisonnablement efficacité » des mathématiques vient du fait de prédire une *existence* physique à partir des seules symétries mathématiques. Or ce lien n'est pas du tout évident, et la reconstruction que nous proposons de ces prédictions le brise dans un certain sens. En effet, nous avons fait apparaître ces prédictions « non-standards » comme fondées sur des énoncés nomologiques comportant des termes qui dénotent des grandeurs existentielles, comme le nombre de membres d'une familles de baryons 3/2. Cette grandeur existentielle est une grandeur physique, et les mathématiques entrent dans la définition de son concept exactement comme dans celle d'autres grandeurs physiques comme les autres nombres quantiques (masse, spin, charge, isospin, etc.).

Le second trait qui nous a semblé marquer le caractère existentiel de ces prédictions est l'absence de prémisses indiquant des conditions initiales. L'énoncé de prédiction existentielle est en effet déductible directement du seul énoncé nomologique, pourvu qu'on accepte de le mettre sous sa forme existentielle absolue. Nous avons, dans un premier temps, dit que cette déduction nomologique pouvait être conçue comme un cas limite du modèle DN. Il n'y a donc pas de lien spécial ou extraordinaire entre prédictions mathématiques et prédictions existentielles.

Mais cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas de lien, car ce lien peut être régulier et si courant qu'on ne le remarque plus. On peut en effet concevoir toute prédiction mathématique comme une prédiction existentielle, et simplifier considérablement le modèle DN pour les prédictions, en montrant qu'on peut systématiquement supprimer les conditions initiales. Prenons l'exemple d'une simple loi phénoménologique, comme la loi des gaz parfaits qui relie ainsi la pression P d'un gaz, son volume V, sa température T et n la quantité de matière : PV = nRT (avec R une constante). Certes, on peut assigner à une loi comme celle des gaz parfaits des conséquences logiques qui, pour être déduites, nécessitent de poser des conditions initiales. Par exemple, l'énoncé de prédiction « Ce corps *c* qui est un volume *v* de gaz parfait et une pression *p*, a une température *t* » ne se déduit de la loi PV=nRT qu'à la condition de lui ajouter la prémisse : « Le corps *c* est un volume *v* de gaz parfait avec une pression *p* ». On peut alors calculer et prédire sa température. Mais cette loi a aussi des conséquences logiques plus directes, qui n'ont pas besoin de conditions initiales pour être déduites, comme : « $v.p = n.R .t$ » avec *v*, *p*, et *t* des volume, pression et température déterminés. On ne prédit simplement rien concernant un corps *c*.

Cette prédiction est déductible de la loi, parce que comme l'écrit Hempel, cette loi est pareille à « la plupart des lois des sciences de la nature », qui « sont quantitatives : elles *affirment l'existence* de relations mathématiques déterminées entre différentes grandeurs caractéristiques de systèmes physiques (par exemple, entre le volume, la température et la pression d'un gaz » (Hempel, 2012, p. 84). Si une loi quantitative *affirme l'existence* de relations mathématiques entre des grandeurs physiques, on ne s'étonne donc pas qu'on puisse en prédire qu'une (quelconque) de ces relations déterminées, comme « $v.p = n.R.t$ », est le cas. Une telle prédiction mathématique présente alors la seconde marque des prédictions existentielles, l'absence de conditions initiales.

Nous ne pouvons que suggérer comment vérifier que cette prédiction mathématique présente aussi le premier trait des prédictions existentielles, comme nous ne voulons ici qu'esquisser un moyen de généraliser à toutes les prédictions mathématiques les conclusions valant pour les existentielles. En effet, on peut défendre la thèse qu'une loi comme PV = nRT contient des grandeurs existentielles, dans la mesure où les grandeurs physiques mathématisées, comme la pression P, sont existentielles. En se référant au chapitre sur la mesure (section 3.3.3.), on se souvient que l'objectivité de la mesure impliquant la validité du principe ontologique RPP pour les quantités : toutes les déterminations des grandeurs physiques sont physiquement réalisées. L'existence d'une grandeur physique implique alors la réalisation physique et l'existence de tous ses cas particuliers, comme « $v.p = n.R.t$ ».

Cette esquisse ne fait que suggérer comment, en généralisant la reconstruction proposée des prédictions mathématiques existentielles, on peut atténuer considérablement leur caractère non-standard. Même les prédictions fondées sur des lois physiques mathématisées « standards », sont analysables dans le cadre d'un modèle DN simplifié, sans conditions initiales posées en prémisses. Dans ce cadre, les équations peuvent être traitées comme des énoncés nomologiques de classification, dans la mesure où (1) elles désignent, regroupent dans une même classe, et affirment l'existence de faits particuliers, comme le fait que telle pression déterminée p et tel volume déterminé v aillent avec telle température déterminée t, et (2) elles décrivent les relations physiques entre ces faits particuliers par des relations mathématiques. Comme les relations mathématiques dans les classifications d'entités physiques, ces relations décrivent des changements physiques ; par exemple, comment la température augmentant, une variation du produit de la pression et du volume est concomitante.

Par conséquent, on voit que le cadre d'analyse des énoncés nomologiques de classification, fondements des prédictions dits « non-standards », peut très bien comprendre aussi les cas « standards » des équations mathématiques de la physique. C'est pourquoi, dans la suite, la conclusion que nous tirons de l'application objective des mathématiques aux prédictions existentielles non-standards vaut également pour les cas standards d'application des mathématiques aux prédictions nomologiques.

4.2.Les conséquences ontologiques dérivées de (PER).

Nous avons expliqué quel était le fondement épistémologique des prédictions mathématiques, en montrant comment elles peuvent être reconstruites en conformité avec le modèle DN de prédiction. Elles ont bien un fondement nomologique, qui résulte de l'application du principe général (PER) à la famille d'entités physiques étudiées. Ce résultat est à chaque fois un énoncé nomologique de classification. Maintenant, nous voulons montrer que ce principe (PER) a des conditions ontologiques de validité, de façon à aboutir aux conclusions ontologiques souhaitées. Notre raisonnement global prend donc la forme suivante : la légitimité des prédictions mathématiques présuppose la validité du principe (PER) appliqué aux situations concernées ; or la validité de ce principe implique des conditions ontologiques de possibilité, donc la légitimité des prédictions mathématiques implique que ces conditions ontologiques soient remplies. On remarque la nature kantienne de l'argument : notre but est d'arriver à ces conclusions ontologiques non plus en argumentant *a priori*, mais en montrant qu'elles sont les conditions de possibilité de faits épistémologiques qu'on peut tenir pour établis, comme dans ce cas le caractère fondé des prédictions mathématiques. Nous dénombrons trois conditions ontologiques, examinées successivement.

4.2.1. Le régularisme mathématique des lois.

La première condition ontologique est la première caractéristique de notre ontologie des lois, selon laquelle une loi consiste en une régularité mathématique. D'après l'ontologie des lois proposée dans le chapitre VII, une loi consiste en effet en une conjonction d'états de fait particuliers qui forment une variation concomitante (thèse régulariste mathématique). Or ce premier point dérive de notre analyse du fondement des prédictions existentielles sur des énoncés nomologiques de classification. Montrons qu'on doit identifier les vérifacteurs de ces énoncés à des régularités, et ensuite que ces régularités sont formées de variations concomitantes.

En premier lieu, cet énoncé nomologique est tel qu'en le supposant vrai en prémisse, on peut en déduire une prédiction existentielle légitime. Si cette prédiction est bien fondée, c'est que ce qui rend vrai cet énoncé fonde – au sens ontologique – le fait désigné par la prédiction. Autrement dit, le fait prédit est le cas en vertu seulement de la loi désignée par l'énoncé nomologique.

On se rappelle maintenant que la prédiction se déduit de l'énoncé nomologique sans condition initiale. Pèse donc une très forte contrainte sur l'ontologie de la loi de la nature désignée par l'énoncé nomologique : une loi de la nature doit être telle que sa seule existence, sans lui ajouter de conditions initiales, fonde suffisamment le fait prédit. Et cette contrainte vaut pour tous les faits qui peuvent être prédits légitimement à partir de l'énoncé nomologique, c'est-à-dire toutes les instances de cette loi. Pour

respecter le plus simplement cette contrainte, il faut concevoir la loi comme ne consistant qu'en la conjonction de toutes ses instances particulières, c'est-à-dire en une vaste régularité.

En particulier, on vérifie qu'elle ne peut pas consister en un rapport entre universaux, car un tel rapport nécessite une condition initiale pour fonder des faits particulier à être ses instances. Par exemple, si une loi est le rapport nomologique entre F et G : N(F,G), alors pour que cette loi s'applique au particulier a, il faut d'abord que a soit F : F(a). On a alors : Si N(F,G) et F(a), alors G(a). On voit ici qu'on a besoin de poser F(a) en condition initiale pour que la loi s'instancie. Pour qu'une loi fonde par sa seule existence, et sans condition initiale, ses instances à exister et être le cas, il faut qu'elle n consiste qu'en l'ensemble de ses instances, c'est-à-dire qu'elle soit une régularité.

On s'aperçoit alors facilement que la régularité désignée par un énoncé nomologique de classification ne peut être qu'une régularité mathématique, puisque les faits particuliers qui la composent forment une variation concomitante. En effet, un énoncé de classification décrit l'ensemble des membres d'une classe d'entités physiques en spécifiant leurs différences dans des grandeurs physiques pertinentes. Par exemple, l'énoncé de classification des baryons 3/2 dit que tout baryon 3/2 consiste en la réunion de caractéristiques physiques précises (masse, charge, étrangeté, isospin, etc. : les nombres quantiques pertinents) qui varient d'un baryon à un autre, avec un spin déterminé de 3/2. Sous sa forme conditionnel, l'énoncé de classification peut s'écrire :

(X) $\forall a$, *10-B*$^{3/2}$*(a) seulement si* $\exists x, y, z \,/\, Sp(x) \wedge C(y) \wedge S(z) \wedge I(x, y, z)$, *avec* $a{:}\, I(x, y, z)$.

Dans (X), les prédicats Sp(.), C(.) et S(.) signifient respectivement « être un spin », « être une charge » et « être une étrangeté ». On prend seulement ces trois caractéristiques, par souci de brièveté et dans la mesure où elles sont suffisantes pour rendre compte exhaustivement de la variété des baryons 3/2. L'énoncé X dit que le particulier *a* est un baryon 3/2 si et seulement s'il existe trois particuliers *x, y* et *z* qui sont respectivement un spin, une charge et une étrangeté, et tels que $I(x, y, z)$ est vrai d'eux. Le prédicat *I* exprime toute la force classificatoire de (X), c'est pourquoi il faut le définir ainsi :

(Y) $\forall x, y, z, I(x, y, z)$ *si et seulement si* $\cup^i \left(x = \frac{3}{2}, y = c_i, z = s_i, I_i\left(\frac{3}{2}, c_i, s_i\right)\right)$

(Y) énonce que le prédicat $I(x, y, z)$ est vrai de *x, y* et *z* si et seulement si *x* est un spin de 3/2 (nécessaire pour être un baryon 3/2), et *y* et *z* sont l'une des paires de charge c_i et d'étrangeté s_i qui sont appariées. Ce sont les paires qui sont représentées par les dix points formant une pyramide dans l'espace de dimensions C et S (figure 3). Autrement dit, (Y) définit le prédicat $I(x, y, z)$ comme une conjonction de prédicats dont chacun correspond à un des baryons 3/2 du décuplet, identifiant chaque baryon 3/2 à un triplet de caractéristiques quantiques bien définies (spin, charge et étrangeté). Formulé de cette façon,

l'énoncé de classification (X) est sous forme conditionnelle. Il a pour condition que le particulier *a* soit bien un baryon 3/2. Mais nous avons également expliqué qu'on pouvait le formuler sous une forme existentielle absolue, qui donne dans ce cas :

$$(Z)\ \cap^{i} \left\{\exists x, y, z / Sp(x) \wedge C(y) \wedge S(z) \wedge \left(x = \frac{3}{2}, y = c_i, z = s_i, I_i\left(\frac{3}{2}, c_i, s_i\right)\right)\right\}$$

Sous cette forme (Z), on énonce une conjonction d'énoncés existentiels. Chacun affirme qu'il existe des *x, y* et *z* tels que *x* est un spin de 3/2 (nécessaire pour être un baryon 3/2), et *y* et *z* sont l'une des paires de charge c_i et d'étrangeté s_i qui sont appariées d'après la représentation du décuplet sur le plan SxC. Leur conjonction affirme, pour toutes les déterminations admises c_i et s_i de charge et d'étrangeté, l'existence d'un fait particulier d'appariement qui les relie l'une à l'autre et à un spin 3/2. Ces appariements sont des points dans un espace à deux dimensions, qui correspondent bien à des faits de variations concomitantes entre deux grandeurs physiques. De façon générale, un énoncé de classification affirme l'existence des divers membres d'une classe d'entités distinctes et les décrit par *n* caractéristiques, comme autant de points différents dans un espace à *n* dimensions. Ces points décrivent un sous-espace de variations concomitantes. Sous sa forme existentielle, l'énoncé affirme l'existence de tous ces points en variations concomitantes.

4.2.2. La loi comme contrainte globale et l'ontologie non-humienne de ses instances.

On en vient maintenant aux deuxième et troisième conditions ontologiques, qui concernent plus spécifiquement la validité du principe (PER). On se rappelle en effet que selon l'ontologie des lois du chapitre VII, les lois sont conçues comme des régularités soumises à des contraintes globales. Une loi est une classe de faits particuliers d'appariement, mais ces faits ne sont pas déterminés séparément les uns des autres, mais co-déterminés avec tous les autres. C'est la deuxième caractéristique ontologique. La troisième concerne l'ontologie non-humienne de l'instance de la loi. L'instance particulière d'une loi est un fait relationnel $I_i(f_i, g_i)$, qui ne survient pas sur ce que sont les particuliers reliés f_i et g_i, mais est le cas seulement si la loi, c'est-à-dire l'appariement *complet* entre tous les f_i et g_i, existe. Ainsi, dès lors qu'un seul fait particulier $I_i(f_i, g_i)$ est le cas, il implique que la loi existe. Dans ce qu'*est* ce fait particulier instance de la loi, entrent constitutivement les faits extrinsèques d'être dans des relations déterminées avec l'ensemble des autres faits particuliers d'appariements $I_j(f_j, g_j)$, au sein d'une loi qui les contraint globalement. Le fait particulier d'appariement implique l'existence de la loi comme son fondement ontologique, puisqu'il est ce qu'il est en vertu seulement de l'existence d'un ensemble de faits d'appariement contraints globalement.

Nous avons vu que ces deux caractéristiques ontologiques des lois sont conséquences de l'analyse structuraliste relationnelle des grandeurs physiques qu'elles relient (chapitre VII, sections 3.2.1. et 4.2.3.2.). Or nous pouvons maintenant montrer que, pour considérer le principe PER valide, il faut admettre exactement ces thèses ontologiques pour sa validité, parce que PER implique une ontologie structuraliste relationnelle des instances des lois de classification.

Montrons-le à partir du cas des baryons 3/2. La famille d'entités physiques C est la classe des baryons 3/2, adéquatement représentée par une structure mathématique M. Mais le principe (PER) nous permet maintenant d'en dire beaucoup plus sur la structuration interne de la classe C, c'est-à-dire sur les rapports ontologiques qui tiennent entre le type « être un baryon 3/2 », les divers baryons 3/2 existants et les relations physiques décrites par le groupe linéaire 10-SU(3). Si (PER) est valide, on peut légitimement déduire l'existence d'une entité physique correspondant à l'élément Γ' de M, en vertu du fait que Γ' prolonge les relations R qui valaient pour Γ qui avait un référent physique adéquat, et cela *dès que* les relations R reflètent les relations physiques entre les entités membres de C. Or cela a une nette conséquence ontologiquement : les entités physiques membres de C s'identifient à des faisceaux de relations instanciées.

En effet, soient γ, γ' les référents physiques respectifs de Γ et Γ', et r(γ,γ') la relation particulière entre γ et γ' qui est reflétée par R(Γ,Γ') dans la structure M. (PER) implique ontologiquement que γ existe en vertu seulement du fait que γ' existe et que les relations R reflètent les relations physiques r(γ,γ'). Or cela n'est possible que si γ' ne peut pas exister sans que r(γ,γ') soit le cas, c'est-à-dire sans être dans la relation r avec γ, et donc en particulier, sans que γ n'existe. Autrement dit, (PER) ne peut être validement appliqué pour déduire l'existence de γ que si l'existence de γ' implique celle de r(γ,γ') et donc de γ. La relation r(γ,γ') ne peux donc pas survenir sur les existences préalable de γ et γ', mais ces relata *sont* (partiellement) cette relation. Or cela vaut évidemment pour déduire l'existence de tout membre γ de C, donc γ' ne consiste qu'en un faisceau de relations r à tous les autres membres γ de C. Et cela vaut également pour tout membre γ' de C. Donc tout membre de C est constitutivement un faisceau de relations r à tous les autres membres de C. Par conséquent, la structure de relations physiques décrites par la structure relationnelle M détermine *ce que sont* les entités physiques de la classe C. Chacune d'elle n'est ontologiquement qu'un faisceau de ces relations.

Dans le cas des baryons 3/2, cela se reconnaît sans problème. Chaque baryon, en existant et étant ce qu'il est, ne consiste qu'en des relations physiques déterminées avec tous les autres baryons au sein de la structure. Ces relations physiques sont les transformations (permutations, rotations) décrites mathématiquement comme les actions du groupe linéaire de SU(3) engendrant un espace de 10 entités symétriques sur le plan SxI_3. Les transformations de ce groupe correspondent à des variations concomitantes entre les grandeurs quantiques pertinentes (charge, isospin, étrangeté, etc.). Le langage des physiciens comprend cela en parlant autant de « particules », pour désigner ces entités, que d'« états » particuliers distincts d'une même particule. Notre thèse est qu'il faut que telle soit l'ontologie

de ces entités physiques, pour que le principe (PER) soit valide, en raison de la priorité qu'il donne au relations sur leur *relata* au sein d'une classe structurée d'entités. Cette ontologie structuraliste est la condition nécessaire de validité de ce principe.

Si maintenant nous identifions cette classe C d'entités, dont les membres sont entièrement déterminés par les relations qui structurent C, avec la loi décrite par l'énoncé nomologique de classification, alors nous pouvons dériver les deuxième et troisième conditions ontologiques.

D'après l'ontologie non-humienne des instances de loi, chaque instance n'est ce qu'elle est que si toutes les autres instances existent (et donc que la loi existe), parce que *ce qu'elle est* est déterminé par ses relations à toutes les autres instances de la même loi. Toute instance ne serait pas exactement la même si une seule des autres instances de la même loi n'existait pas. Par exemple, si on suppose que le baryon 3/2 désigné par la place Δ^+ dans M est membre d'une classification en 27-uplet de ces baryons, cela fonde la prédiction de l'existence d'Ω^-, mais aussi de l'existence de toutes particules qui appartiendraient à cette classification, parce que si Δ^+ *est* membre d'un 27-uplet, alors ce 27-uplet est entièrement le cas. Cette prédiction était justifiée par l'application du principe (PER). Mais elle signifie bien que Δ^+ ne serait pas ce qu'il est s'il n'était pas membre d'un 27-uplet, et donc si toutes les autres instances de cette classification n'existaient pas. C'est donc l'ontologie non-humienne des instances de loi (ici, des cas particuliers de baryons 3/2) qui est la condition de validité du principe (PER).

Enfin, cette ontologie relationnelle des membres de C explique également que la loi de classification exerce une contrainte globale sur les membres de C. C'est en général ce point qui donne l'impression d'une incroyable efficacité des mathématiques, dans la mesure où cette contrainte globale exercée par la loi est décrite par les propriétés d'une structure mathématique. Ici, dans le cas des baryons formant un décuplet, c'est la figure géométrique d'une pyramide à dix places sur la plan SxI_3 qui donne l'impression que, pour le dire vaguement, un objet purement mathématique impose sa forme abstraite et commande à la fois l'existence et les caractéristiques essentielles d'entités physiques. Mais la contrainte exercée par la loi s'analyse pourtant en des termes uniquement physiques. Les relations mathématiques qui, sur un plan purement mathématique engendrent un objet abstrait comme une pyramide, sont interprétées et décrivent des relations physiques au sein de la structure relationnelle des entités de la classe C. Cette structure relationnelle exerce alors une contrainte globale sur ces entités, dans la mesure où ce qu'elles sont, c'est-à-dire à la fois qu'elles existent et aient telles caractéristiques précises, est entièrement identifié à des places de cette structure. Chaque entité membre de C, en tant qu'instance d'une loi de classification, est donc déterminé comme ce qu'il est avec toutes les autres instances, puisqu'elle est une place parmi toutes ces autres places d'une même structure.

Nous avons ainsi tiré les principales conclusions ontologiques du principe (PER), et montré qu'elles rejoignent les trois propositions principales de l'ontologie des lois développées au chapitre précédent. Nous voulons évoquer maintenant une dernière conséquence ontologique, moins centrale mais néanmoins frappante, qui a trait aux modalités physiques en lien avec les lois de la nature.

4.2.3. Actualisme et élimination des modalités physiques.

Les modalités impliquées dans les prédictions mathématiques présentent des caractéristiques très étonnantes. Dans l'exemple de la prédiction du positron, nous avions déjà signalé que Dirac appuyait la recherche d'une entité physique correspondant aux solutions à énergie négative de son équation sur le fait qu'une telle particule *pouvait* exister, puisque la transition discontinue entre un état d'énergie positif et un négatif, nécessaire à son existence, était *physiquement possible* en mécanique quantique. Mais du même coup, on a l'impression que ces prédictions mathématiques consistent à inférer *l'existence* d'une entité à partir de sa seule possibilité physique, ce qui semble être une gageure modale. En logique modale standard, on considère plutôt que tout ce qui est réel est possible, mais qu'il serait faux de dire que tout ce qui est possible est réel.

Maintenant, on peut s'apercevoir que notre analyse du fondement des prédictions existentielles renforce la théorie déflationniste de modalités esquissée au chapitre VII. On se rappelle que nous soutenons l'actualisme, au sens où nous nions qu'il y ait de purs *possibilia*, et affirmons que toutes les entités physiquement possibles, c'est-à-dire compatibles avec les lois de la nature, sont physiquement actuelles. Un tel actualisme est directement impliqué par le fondement des prédictions mathématiques. En effet, on se rappelle qu'à côté du principe (PER), qui appliqué à une classe d'entités physique C engendre un énoncé nomologique de classification, nous avions formulé le principe (a) : Toute entité physique appartenant à la classe C (par exemple la classe des baryons 3/2) correspond à une place dans la structure représentative M. Mais avions aussi proposé un principe modalement plus faible (a') : Toute entité physique *physiquement possible* appartenant à la classe C (par exemple la classe des baryons 3/2) correspond à une place dans la structure représentative M. Faut-il choisir (a) ou (a') ?

Comme (PER) nous permet de prédire, à la condition que l'une des entités appartenant à C existe, *l'existence* de toute autre entité appartenant à C, alors à cette condition même, il n'y a plus de différence entre (a) et (a'). Dès qu'une des entités appartenant à C existe, alors toutes les autres entités physiquement possibles qui peuvent appartenir à C existent. Nous en arrivons donc à une forme d'actualisme sortal : toutes les possibilités physiques d'entités appartenant à une sorte d'entité C sont physiquement réalisées, et il n'y a pas d'entité physique membre de C *purement* possible. Relativement à la sorte C, tout ce qui est réel est possible, mais inversement aussi, tout ce qui est possible est réel.

Cette dernière proposition se vérifie quand on réfléchit à la sémantique des énoncés contrefactuels qui peuvent résulter d'une prédiction existentielle. Il peut arriver qu'un physicien prédise « l'existence possible » d'une particule par exemple, en se basant sur un formalisme ou une représentation mathématique. Il formule alors un énoncé de prédiction qui prend une forme apparemment contrefactuelle : « si on se place dans les conditions initiales C_i, alors on doit détecter la particule γ représentée par l'élément Γ de la représentation mathématique ». Mais ce conditionnel porte

sur une situation « possible » en un sens tout à fait différent du sens modal standard, où « possible » n'implique pas « réel » mais peut correspondre à une possibilité non-réalisée.

Car le physicien *ne* veut certainement *pas* dire que la particule γ est possible mais nulle part et jamais physiquement réalisée dans le monde. Son conditionnel porte bien plutôt sur des conditions d'observabilité de γ dans l'espace-temps, qui ne sont technologiquement pas atteignables. Il veut dire par exemple qu'en créant des conditions très rares d'énergie, comme dans un collisionneur à particules techniquement irréalisable, alors on devrait observer la particule γ. Mais pour que ce conditionnel soit vrai, il faut que γ existe, au sens le plus simple de l'existence physique actuelle. Par conséquent, cette possibilité ne concerne pas l'existence de la particule, mais son apparition dans l'espace-temps et dans les radars de nos instruments. Or c'est exactement ce sens de possibilité que nous avons expliqué dans le chapitre précédent : est « possible » une entité physique réelle dont l'apparition dans l'espace-temps est compatible avec les lois de phénoménalisation. Nous appelions « loi de phénoménalisation » une loi dont au moins une des propriétés physiques qu'elle relie est une quantité spatio-temporelle.

Ainsi, il existe bien des énoncés de prédiction qui ont la forme d'un contrefactuel, mais qui n'en sont pas au sens strict d'énoncé qui porteraient sur de purs *possibilia*. Ces énoncés portent sur l'apparition détectable dans l'espace-temps d'une particule, et non sur une particule purement possible. Par exemple, Ne'eman raconte comment dans les années 1960, les particules dont l'existence a été prédite sont détectées par l'observation de traces sur des photographies prises de l'intérieur des chambres à bulle. Les caractéristiques observables de ces traces (comme l'orientation et la courbure du rayon) permettent de déduire les caractéristiques (charge, énergie) des particules qui ont laissé ces traces, d'après la connaissance d'une loi de phénoménalisation. Donc la vérité de ces énoncés conditionnels de détection présuppose au contraire l'existence de γ, et nous pouvons les appeler des énoncés de prédiction de l'observation. Ces prédictions d'observation peuvent être parfaitement analysées dans le cadre DN standard, où l'on pose en prémisses un ensemble d'énoncés nomologiques : des énoncés nomologiques existentiels, comme « γ existe et a les caractéristiques décrites par M », des énoncés nomologiques décrivant des lois de phénoménalisation, comme « si on se place dans les conditions initiales C_i, alors on observe les phénomènes *p* qui sont l'apparition de γ » et des énoncés posant les conditions initiales C_i. La détection de γ par l'observation des phénomènes *p* s'en déduit, et la prédiction de cette détection est donc fondée. Par conséquent, ces énoncés de prédiction ne portent pas sur d'authentiques contrefactuels, au sens de pures *possibilia*, mais sur des possibilités physiques au sens restreint d'apparition dans l'espace-temps compatible avec (voire gouverné par) des lois de phénoménalisation.

4.3.Conclusion.

Nous pouvons maintenant conclure l'ensemble de ce chapitre sur les prédictions mathématiques. Nous avons établi, en étudiant deux cas historiquement importants, qu'il existe d'authentiques

prédictions mathématiques, qui sont des cas de prédictions existentielles motivées par les caractéristiques de la structure mathématique utilisée pour représenter une classe de phénomènes ou d'entités. Le premier problème affronté a été de savoir si ces prédictions étaient nomologiquement fondées, dans le cadre du modèle DN, ou bien si elles n'étaient que des prévisions hasardeuses, dont, aussi rationnelles qu'elles soient (*educated guess*), le succès relève d'une forme d'oracle.

Après avoir discuté les analyses de Steiner, Bangu et Ginammi, qui s'accordent à dire que les mathématiques n'ont de rôle légitime qu'heuristique, dans un contexte de découverte, nous avons montré que les prédictions mathématiques pouvaient au contraire être parfaitement fondées. Nous avons contesté la reconstruction de Bangu et le principe de réification (PR), pour montrer que les prédictions mathématiques n'étaient pas fondées sur un principe général, mais sur des énoncés nomologiques de classification. Ces énoncés font partie de la théorie physique pertinente qui porte sur le domaine physique concerné, et dont ces prédictions sont des conséquences logiques.

Mais nous avons montré aussi que ces énoncés présupposent la validité d'un principe épistémologique général qui est interprété et appliqué à ces domaines physiques particuliers. Après avoir formulé ce principe (PER) dans sa généralité, nous avons achevé le raisonnement en montrant qu'il avait pour conditions de validité les propositions ontologiques fondamentales de la théorie des lois de la nature présentée auparavant. Ainsi, nous pensons avoir montré que cette ontologie des lois doit être tenue pour vraie, dans la mesure où elle est la condition de possibilité des prédictions mathématiques.

Nous passons maintenant de ce que nous avons appelé la prédiction mathématique, aux questions plus balisées de la confirmation empirique des théories, et plus spécifiquement, des énoncés nomologiques. Le but est de faire un raisonnement similaire à celui que nous venons de résumer, mais de le transposer maintenant de la prédiction à la confirmation.

Chapitre IX : La confirmabilité mathématique.

Dans ce chapitre, nous étudions l'application nomologique des mathématiques dans le cas, non plus de la prédiction, mais de la confirmation. Nous voulons montrer, comme dans le précédent chapitre VIII, que l'application nomologique des mathématiques a, pour condition ontologique de possibilité, l'ontologie des lois présentée au chapitre VII. Maintenant, le sens de l'adjectif « nomologique » change par rapport au chapitre sur la prédiction, à mesure que change le rôle tenu par l'énoncé auquel on l'accole. Dans le cas de la prédiction, un énoncé est dit « nomologique » s'il est susceptible de fonder déductivement, dans le cadre DN, une prédiction. Qu'on se place maintenant en situation de vérifier expérimentalement cette prédiction, le même énoncé est dit « nomologique » s'il est susceptible d'être confirmé par l'observation de ses instances particulières, par exemple par la vérification du même fait prédit. Nous parlerons de « confirmabilité mathématique » pour tous les cas où le caractère nomologique d'un énoncé lui vient (en partie) de sa forme mathématique, c'est-à-dire où sa formulation dans un langage mathématique joue un rôle essentiel dans sa capacité à être confirmé par ses instances.

Il y a une connexion étroite et à double sens entre prédiction et confirmation, que permet d'éclairer la notion d'induction. Dans un sens, un énoncé qu'il est intéressant de tenir pour confirmé par l'observation de ses instances porte aussi sur d'autres cas particuliers que ceux observés. De cette façon, si un énoncé est ainsi confirmé, il peut alors servir de fondement pour des prédictions à propos des cas non-observés, et peut donc augmenter notre connaissance à expérience constante. L'induction est le nom du raisonnement scientifique par lequel un énoncé est confirmé par des cas observés, alors qu'il porte aussi sur d'autres cas non-observés et fonde donc des prédictions. Ici nous nous intéressons bien à des énoncés ou hypothèses à confirmer qui portent sur des lois de la nature, et leur confirmation est corollaire d'une induction. C'est pourquoi on parlera souvent de confirmation inductive.

Dans l'autre sens, il est intéressant de tirer des prédictions d'une hypothèse nomologique, dans la mesure où l'on pense que la vérification empirique de ces prédictions vaudra comme une confirmation inductive de cette hypothèse. Ainsi, prédiction et confirmation sont deux moments épistémologiques essentiels et inséparables au sein du processus d'induction des hypothèses nomologiques. C'est cette connexion que Goodman a évidemment aperçue en baptisant son problème, qui porte comme nous allons le voir sur les conditions de la confirmabilité, « énigme de *l'induction* », et en désignant parfois les généralisations inductives comme des « prédictions nomologiques ». Dans ce chapitre, les figures de Goodman et de sa « nouvelle énigme » occuperont naturellement une place importante.

Notre but est simple. Comme dans le chapitre précédent, nous voulons montrer que la confirmabilité d'énoncés mathématisés de lois a des conditions ontologiques de possibilité, qui sont identiques aux propositions principales du chapitre VII. C'est pourquoi la première section du présent

chapitre est consacrée à l'établissement du fait épistémologique de la confirmabilité mathématique, et que la troisième et dernière section étudie ses conditions ontologiques. Entre les deux sections, la deuxième est une longue incise par laquelle nous discutons de la connexion entre notre problème de la confirmation mathématique et l'énigme de Goodman. On s'apercevra que notre problème sera précisément de comprendre à quelles conditions le problème de Goodman *ne se pose pas*. Et pour étudier ces conditions, nous mettrons en place des outils conceptuels qui nous seront ensuite très utiles pour dériver les conséquences ontologiques dans la dernier section.

1. La confirmation des hypothèses nomologiques et les mathématiques.

Comme une grande partie de ce chapitre est consacrée à définir la confirmabilité mathématique, il est utile d'introduire d'abord aux problèmes épistémologiques liés à la notion de confirmation et à l'approche reçue du rôle du langage mathématique dans le formulation des énoncés nomologiques.

1.1.Le critère de Nicod et les mathématiques.

La confirmation est une relation entre deux types d'énoncés : une hypothèse, qui est générale parce qu'elle porte sur tous les cas particuliers d'un ensemble, et des énoncés portant sur des observations ou des données particulières. Ces derniers confirment la première, au sens où, sans l'impliquer logiquement, leur vérité augmente la probabilité de la vérité de l'hypothèse. Nous ne nous demanderons pas ici combien de faits on doit avoir observés afin de tenir l'hypothèse pour confirmée, ni s'il existe un rapport fixe entre des degrés de confirmation et le nombre d'observations. Ces questions relèvent de la logique inductive et des probabilités, et viennent après l'étude de la relation qualitative de confirmation. C'est dans ce cadre que Nicod a formulé un critère de confirmation, que nous allons présenter, avant de passer au rôle qu'il permet d'accorder aux mathématiques dans la confirmation.

1.1.1. Le critère de Nicod et la forme conditionnelle des hypothèses.

Selon le critère de Nicod, une hypothèse comme « Toutes les A sont B » est bien confirmable par l'observation des cas de A où B est aussi le cas, et par eux seuls :

> Considérons la formule de loi A entraîne B. Comment une proposition individuelle, ou plus brièvement un fait, peut-il affecter sa vraisemblance ? Si ce fait consiste en la présence de B dans un cas de A, il est favorable à la loi A entraîne B. Au contraire, s'il consiste en l'absence de B dans un cas de A, il est défavorable à cette loi. On peut concevoir que ce sont là les deux seules actions directes qu'un fait puisse exercer sur la probabilité d'une loi. Réalisant l'hypothèse, ou bien il réalise aussi la conclusion et il donne

> à la loi son appui, ou bien il ne la réalise pas et il le lui refuse : tels seraient les ultimes ressorts de l'action inductive. Un fait qui consiste en autre chose que la présence ou l'absence de B dans un cas de A ne saurait alors agir directement sur la vraisemblance de la loi A entraîne B. (Nicod, 1961, p. 23)

Le but de ce critère est de restreindre la gamme des faits susceptibles d'authentiquement confirmer ou infirmer l'hypothèse. En supposant que l'hypothèse a une forme conditionnelle comme « Si quelque chose est A, alors il est B », seuls les faits particuliers où A est le cas sont pertinents, et le critère exclut tous les autres. Si A et B sont le cas, alors c'est une instance positive qui confirme l'hypothèse. Si A est le cas mais pas B, alors c'est une instance négative qui infirme l'hypothèse.

Hempel a abondamment repris, discuté et amendé ce critère, en particulier pour répondre aux difficultés ou paradoxes qu'il peut engendrer (Hempel, 1945). Il lui reproche d'abord de ne concerner que les énoncés conditionnels universels, et donc de n'offrir aucune aide pour analyser la confirmation d'une hypothèse affirmant l'existence d'une entité ou l'occurrence d'un fait particulier. Ensuite, cette forme conditionnelle fait que le critère de Nicod, auquel il faut ajouter selon Hempel la « condition d'équivalence », engendre les « paradoxes de la confirmation ». Selon la condition d'équivalence, ce qui confirme (ou infirme) l'un de deux énoncés logiquement équivalents doit aussi confirmer (ou infirmer) l'autre. De deux énoncés équivalents E et F, l'un est vrai si et seulement si l'autre est vrai. Cette condition d'équivalence impose alors que E est confirmé par *e* si et seulement si F est confirmé par *e*, afin en quelque sorte de ne pas séparer la confirmation de la vérité. Pour Hempel, il s'agit de garantir que la confirmation soit indépendante de la façon dont l'hypothèse est formulée, pour ne dépendre que de son contenu, c'est-à-dire de ce qu'elle affirme de la réalité et qui peut être vrai ou faux.

Le « paradoxe des corbeaux » apparaît quand cette condition d'équivalence est jointe au critère de Nicod. D'après ce critère, l'énoncé « *a* n'est pas un corbeau et n'est pas noir » confirme l'énoncé universel F : « Tout ce qui n'est pas noir n'est pas un corbeau ». Le fait *a* est une instance de cette hypothèse. Mais F est logiquement équivalente à cet autre conditionnel universel E : « Tout ce qui est un corbeau est noir ». Donc *a*, qui pourrait désigner par exemple ce vélo jaune, devrait permettre de confirmer que « Tous les corbeaux sont noirs », ce qui est absurde.

Cette conséquence est absurde dans la mesure où une hypothèse scientifique ne devrait être confirmée (ou infirmée) que par des faits appartenant au périmètre des phénomènes visés, et ne devrait recevoir aucun soutien empirique de faits totalement extérieurs à ce périmètre, sans quoi n'importe quelle hypothèse scientifiquement aberrante pourrait être confirmée. Hempel a alors proposé plusieurs manières de restreindre la portée du critère de Nicod pour résoudre ce paradoxe (Hempel, 1967). Dans la mesure où cette difficulté dépend de la forme conditionnelle que Hempel et Nicod ont prêtée aux hypothèses scientifiques générales, il s'agirait de discuter et de modifier cette forme, ce qui n'est pas notre propos.

Une autre difficulté émerge d'une généralisation possible de ce critère. D'après ce qu'on pourrait appeler « un modèle Déductif-Nomologique de la confirmation », un énoncé H est confirmable par un énoncé *e* si et seulement si H énonce une loi scientifique et *e* est une conséquence déductive de cette loi. D'après ce modèle, un énoncé de loi physique peut être confirmé par l'observation d'une partie de ses conséquences observationnelles, c'est-à-dire par ses prédictions au sens du modèle DN classique.

Une difficulté posée par ce modèle de la confirmation serait de parvenir à distinguer, parmi les énoncés généraux impliqués avec H dans la déduction de *e*, ceux qui sont légitimement confirmés par des faits ou éléments empiriques, et ceux qui ne le sont pas. Par exemple, une théorie physique contient des énoncés portant sur des lois physiques et impliquant des concepts physiques, mais aussi des théorèmes mathématiques qui ont une utilité au moins computationnelle. Or, on peut vouloir éviter que ces théorèmes mathématiques impliqués dans le calcul des conséquences observationnelles d'un énoncé physique soient confirmés par leurs observations. Une des façons d'isoler l'énoncé de la loi physique est de dire que c'est l'énoncé qui permet une authentique *explication* du phénomène déduit. On dirait alors que ne peut être confirmé par ses conséquences observationnelles qu'un énoncé explicatif. Ce nouveau critère reposerait sur le présupposé qu'il n'y a d'explication *que physique* de phénomènes physiques, et que par conséquent l'énoncé explicatif est une loi physique. Mais surtout, ce critère demanderait qu'on fournisse ensuite une analyse de la relation d'explication, et on ne pourrait pas recourir sans circularité au modèle DN pour la donner. On pourrait tout aussi bien repousser la difficulté, et défendre au contraire une forme de holisme confirmationnel, selon lequel c'est en totalité que les théories (physiques, mathématiques, logiques) acceptées à un instant t sont confirmées par l'expérience.

Néanmoins, pour éviter ces problèmes, nous n'allons parler ici que des hypothèses dont le contenu est identique à leurs conséquences logiques et observationnelles, c'est-à-dire les énoncés qui portent sur un ensemble de faits empiriques particuliers qui sont aussi les prédictions qu'ils fondent. C'est le cas des énoncés qui utilisent des prédicats dont l'extension recouvre des objets observables (au moins en partie), comme « Toutes les émeraudes sont vertes », ou encore des lois phénoménologiques qui relient des grandeurs mesurables. Grâce à cette réduction du champ d'examen, le modèle DN de la confirmation se réduit au seul critère de Nicod : les conséquences observationnelles de l'hypothèse à confirmer sont les cas particuliers qu'elle enveloppe et sur lesquels elle porte.

Maintenant que nous avons écarté ces deux premiers problèmes épistémologiques, liés à la forme logique et à la sémantique des énoncés à confirmer, partons du principe que le critère de Nicod fournit un critère acceptable de confirmation pour les énoncés universels de lois physiques. Quelle place réserve-t-il aux mathématiques dans lesquelles cet énoncé est formulé ?

1.1.2. L'approche reçue du rôle des mathématiques dans la confirmation. L'induction énumérative et l'induction variationnelle.

Selon une vision reçue, les mathématiques ne jouent pas de rôle essentiel dans la confirmation. Comme dans le cas de la prédiction étudié au chapitre précédent, elles permettent seulement une plus grande efficacité d'expression de l'énoncé nomologique et une plus grande précision dans le calcul de ses conséquences. Elles ne seraient pour rien dans le caractère nomologique de cet énoncé. En effet, que celui-ci soit formulé avec des prédicats qualitatifs comme « Toutes les émeraudes sont vertes », ou bien dans des termes désignant des concepts quantitatifs comme l'équation « PV = nRT », le critère de Nicod semble s'appliquer de la même façon. Dans les deux cas, l'énoncé général peut être confirmé par l'observation d'un de ses cas particuliers. L'observation d'une émeraude verte particulière confirme d'après le critère de Nicod que toutes le sont. De la même façon, l'observation d'une pression p, d'un volume v et d'une température t déterminés dans un gaz donné, qui sont liés par la relation de proportion adéquate, confirme l'équation générale reliant ces grandeurs. Le langage mathématique dans lequel elle est formulée ne participe pas à son caractère nomologique. Les mathématiques ne semblent donc pas avoir de rôle dans la logique de la confirmation.

Pourtant, il y a une différence peu remarquée entre la confirmation inductive d'un énoncé général qualitatif comme « Toutes les émeraudes sont vertes » et celle d'un énoncé mathématisé de loi physique. Nous appelons la première « induction énumérative », et allons caractériser par contraste la seconde et l'appeler « induction variationnelle ». La première forme d'induction consiste à énumérer des cas individuels dont l'observation a révélé une caractéristique commune, que l'on voudrait généraliser à d'autres individus non-observés. Intuitivement, cette caractéristique commune est censée représenter une propriété par laquelle les différents cas individuels sont objectivement similaires ou qualitativement identiques. Dans le cas de l'induction énumérative, le critère de Nicod énonce qu'une généralisation comme « Toutes les émeraudes sont vertes » peut être confirmée par divers cas d'émeraudes qualitativement identiques.

Mais considérons maintenant une loi scientifique mathématisée, comme l'équation des gaz parfaits « PV = nRT », et essayons de lui appliquer le schéma de l'induction énumérative. Quel est la similarité qualitative objective que l'on peut dégager, dont cette loi serait la généralisation à tous les cas ? Posons qu'un cas particulier est forcément un triplet formé d'une pression p_i, d'un volume v_i et d'une température T_i déterminés (dans un gaz donné). D'autres cas particuliers peuvent alors être composés de triplets de pression, volume et température déterminés *identiques*, au sens de mathématiquement égaux. En généralisant cette similarité, on obtiendrait une hypothèse du type : « Pour tout gaz x, si son volume est v_i et qu'il exerce une pression p_i, alors sa température moyenne est de T_i ». Mais ce n'est pas du tout l'allure de la loi formulée par l'équation « PV = nRT », qui ne porte pas sur un triplet de pression, volume et température déterminés, mais sur ces grandeurs en général.

Cette équation énonce qu'il y a un rapport de proportionnalité entre le produit de la pression et du volume, et la température. C'est peut-être là qu'est la similarité objective entre ses différents cas particuliers. En la généralisant, on obtiendrait une hypothèse du type : « Pour tout x, y, z, si x est une pression exercée par un gaz, y un volume de ce gaz, et z sa température, alors il y a un rapport de proportionnalité entre le produit de x et y, et la z ». Les différents cas particuliers de cette généralisation seraient qualitativement similaires, en ce qu'ils sont tous « une pression », « un volume » et « une température ». Mais cela ne convient pas non plus, puisque les cas particuliers de l'équation « PV = nRT » ne sont pas tous similairement « une pression », « un volume » et « une température », mais des pressions, volumes et températures déterminés *différents*. Il semble donc que le schéma de l'induction énumérative ne s'applique pas à la confirmation d'une équation par ses cas particuliers.

Il nous semble alors légitime de définir une autre forme d'induction, non énumérative. Nous appellerons « induction variationnelle » la confirmation progressive d'un énoncé, la plupart du temps formulé mathématiquement, par l'observation de ses cas particuliers qui *diffèrent quantitativement*. Pour confirmer l'équation « PV = nRT », un scientifique ne cherche pas à observer une pluralité de cas similaires de pression, volume et température, mais il cherche plutôt à observer des pressions, volumes et températures *différents*, pour voir si ces différents cas respectent bien le rapport mathématique posé par l'équation. L'induction variationnelle implique des différences quantitatives entre les divers cas particuliers ; elle est distincte de l'induction énumérative, où ce sont des états de fait qualitativement identiques qui sont les cas particuliers de l'énoncé à confirmer. Dans une induction variationnelle, l'énoncé est la plupart du temps mathématiquement formulé.

Maintenant que nous avons distingué ces deux formes d'induction, énumérative et variationnelle, comment caractériser la relation de confirmation dans la seconde ? A première vue, on peut toujours lui appliquer critère de Nicod. Comme l'écrit Quine :

> L'induction, à l'origine, consistait surtout à s'attendre à ce que des événements qui nous semblent similaires seront suivis par des événements similaires. Plus large est la classe des événements antécédents mutuellement similaires, qui ont des conséquents mutuellement similaires, plus forte sera l'anticipation d'un conséquent, la prochaine fois qu'un antécédent se présentera. Mais la force de l'anticipation est considérablement accrue si des variations entre les antécédents peuvent être corrélées à des variations entre les conséquents. C'est pour cela qu'on implique des méthodes de mesure. Une méthode est conçue pour mesurer des caractéristiques variables entre les antécédents (similaires par ailleurs), et une autre pour les caractéristiques variables des conséquents, et un ratio constant ou quelque corrélation simple est établie entre les deux variations. […] En raison du pouvoir de ces méthodes, et en dernier ressort, du pouvoir prédictif des variations concomitantes, la science se targue d'être quantitative. (Quine, 1986, p. 152)

Quine fait bien la distinction entre l'induction énumérative classique, où l'hypothèse générale est confirmée par des faits particuliers « similaires », et ce que nous appelons l'induction variationnelle. Mais cela ne fait pas pour lui de différence essentielle à la logique de la confirmation inductive, et dans un cas comme dans l'autre, l'hypothèse générale qui enveloppe ce que l'on sait des cas observés et ce que l'on prédit des cas non-observés, est confirmée par les premiers. Bien que Quine ne mentionne pas le critère de Nicod, on peut penser qu'il se fait ici une idée proche de la confirmation inductive.

Ainsi, selon ce qui nous semble être une thèse largement reçue, les mathématiques ne jouent aucun rôle dans la confirmabilité des énoncés, puisque le même critère de Nicod peut s'appliquer aussi bien dans le cadre d'une induction énumérative, que dans celui d'une induction variationnelle. Quand on confirme une équation physique, la relation de confirmation tient entre l'énoncé général et un de ses cas particuliers, et le langage mathématique utilisé pour formuler cet énoncé ne change rien à cela.

1.1.3. Problématisation de la confirmabilité mathématique (I).

Pourtant, nous allons soulever deux difficultés, dont la seconde constituera notre problème directeur pour ce chapitre. La première porte sur la force supérieure de l'induction variationnelle par rapport à l'énumérative, que Quine affirme sans interroger. La seconde concerne ce qui permet, dans une induction variationnelle, de classer ensemble *différents* faits comme des cas particuliers de la *même* hypothèse (équation), et problématise le rôle des mathématiques dans ce classement.

1.1.3.1.La force de l'induction variationnelle.

Quine affirme que l'induction variationnelle est considérablement plus forte que l'induction énumérative classique, mais ne se demande pas pourquoi ni ne cherche à le comprendre. Pourtant, c'est un fait épistémologique étonnant : constater que les phénomènes physiques de la classe de phénomènes étudiés *varient* de la façon décrite par une équation confirme cette équation avec une force considérable, au point que l'induction y semble d'une nature distincte de l'énumération des cas qualitativement similaires. Plus encore, le dispositif expérimental mis en jeu implique souvent une technologie de pointe et coût financier important, et par conséquent il arrive très rarement qu'une même expérience soit reproduite à l'identique, pour obtenir un résultat qualitativement identique. Si des moyens sont mis pour une nouvelle confirmation expérimentale, les physiciens trouvent plus pertinent de confirmer l'équation dans des circonstances quantitativement différentes. Pour ces deux raisons, l'observation de variations réglées et concomitantes entre des grandeurs mesurables a une force confirmatoire dont le seul critère de Nicod ne rend pas bien compte.

Le problème posé par la force de l'induction variationnelle ne sera pas directeur dans ce travail, puisqu'il relève en grande partie de la logique inductive et des probabilités. Mais nous donnerons dans

la section 2.4.3. des pistes pour y répondre incidemment. Mais nous allons poser un second problème lié à la confirmation d'une équation dans une induction variationnelle, qui nous introduira directement au problème de Goodman.

1.1.3.2.Le problème de la confirmabilité mathématique.

C'est une phrase de Quine et le terme « similaire » qui nous permettent de révéler un second problème : « plus large est la classe des événements antécédents mutuellement similaires, qui ont des conséquents mutuellement similaires… ». Faut-il que les faits particuliers soient « similaires » pour entrer dans cette classe des cas particuliers qui confirment l'hypothèse générale ? Et s'il le faut, en quel sens du terme « similaire » ?

On conçoit très bien comment cette condition est remplie dans le cas de l'induction énumérative d'une généralisation qualitative comme « Toutes les émeraudes sont vertes » : un saphir bleu, et encore moins une émeraude bleue, n'entrent évidemment pas dans la classe des faits particuliers qui confirment cette généralisation, car ils ne sont pas similaires aux éléments de cette classe qui sont des émeraudes vertes. Il y a plus précisément deux points d'application du terme « similaire » : en premier lieu, les divers cas doivent être « similaires » pour entrer dans la classe de tous les cas concernés par l'induction : ici, il faut « être une émeraude » (ce que Quine appelle « l'antécédent ») : en second lieu, les divers cas doivent être similaires dans la caractéristique généralisée : ici, « être vert » (ce que Quine appelle le « conséquent »). Dans les deux cas, « similaire » a le sens fort de qualitativement identique du point de vue des prédicats impliqués dans la généralisation : « être une émeraude », et « être vert ».

Mais si l'on maintient cette condition de similarité, et qu'on entend similarité en ce sens fort, alors l'induction variationnelle soulève deux grandes questions : premièrement, de quel droit peut-on faire entrer dans la classe des faits qui confirment l'hypothèse « PV = nRT » des faits qui ne sont pas similaires en aucun des aspects impliqués dans l'hypothèse, c'est-à-dire ni en pression, ni en volume, ni en température, etc. ? Ils sont bien similaires en étant des cas de pression, volume et température, mais ils sont des cas *différents* de ces grandeurs. Manifestement, si les divers cas sont « similaires » ce n'est pas au sens fort de l'identité qualitative, et il reste à savoir dans quel sens. Cette question, qui n'est pas la plus importante, trouvera incidemment sa réponse dans la section 3.2.1.

C'est une seconde question qui nous occupera tout le long de ce chapitre. En effet, en supposant résolu le problème soulevé par la première question, et constituée une classe C de cas particuliers d'un énoncé équationnel, il reste à savoir en quel sens ces cas peuvent être dits « similaires » dans la caractéristique généralisée, c'est-à-dire en quel sens ils sont instances de la *même* équation. Soit *E* cette équation, et E(.) le prédicat qui s'applique à tout cas particulier *x* qui satisfait l'équation *E*. On peut alors dire que ce prédicat désigne la caractéristique généralisée : « pour tout *x,* si *x* appartient à C, alors *E(x) ».* Mais ce prédicat E(.) désigne-t-il un aspect qualitatif des divers cas de C, par lequel ils sont

objectivement similaires ? Ou bien ce prédicat s'applique-t-il à l'ensemble de ces cas alors même qu'aucune ressemblance qualitative objective ne les réunit ? Le prédicat E est-il un prédicat qualitatif, ou bien ce qu'on peut appeler un « prédicat goodmanien », c'est-à-dire un prédicat qu'il est vrai d'attribuer à tous les particuliers de C bien qu'il ne caractérise aucune ressemblance objective entre eux ? Cette première question revient à demander quelle « similarité » un concept mathématique peut bien capturer et désigner dans des faits physiques différents.

Mais la difficulté ne s'arrête pas là. On s'aperçoit facilement que pour un ensemble fixe de cas particuliers observés, mathématiquement décrits par leurs coordonnées dans un espace, on trouve non pas une seule équation *E*, mais *plusieurs* équations *E, E', E''* etc. qui peuvent comprendre ces points. On peut alors définir autant de prédicats goodmaniens E(.), E'(.), E''(.) etc. qui signifient, respectivement, « satisfaire l'équation *E, E', E''* etc. ». Or, bien que les points initiaux appartiennent tous aux extensions de ces différents prédicats, ces extensions n'en sont pas moins extensivement différentes : il y a d'innombrables autres points dans l'espace, qui appartiennent à l'extension d'un de ces prédicats, mais pas aux autres. Nous verrons dans la section 1.2.3. un exemple concret et graphique de cette situation. Les classes de cas particuliers qui satisfont les différentes équations sont donc des classes différentes. Donc dire que « Tous les *x* de C sont E » est très différent d'affirmer que « Tous les *x* de C sont E' », ou « E'' », etc. Les hypothèses sont incompatibles entre elles, sauf pour les cas observés. Si on leur applique à toutes le critère de Nicod, alors nous devons tenir différentes hypothèses incompatibles pour également confirmées par les mêmes cas observés.

On peut alors formuler le problème complet. Le critère de Nicod suppose que les différents cas particuliers qui sont instances d'une même généralisation soient « similaires » au point de vue de la caractéristique généralisée. La question est de savoir en quel sens du terme les faits particuliers de C peuvent être dits « similaires » (au point de vue de la caractéristique généralisée) pour que le critère de Nicod s'applique légitimement. Or on montre facilement que ce ne peut pas du tout être au sens qualitatif fort du terme « similaire ». En effet, si les prédicats E(.), E'(.), E''(.), etc. dénotaient des qualités objectivement similaires parmi divers particuliers de leurs extensions, et si un même cas observé devait être qualitativement similaire en E avec tous les autres cas de C, et en même temps qualitativement similaire en E' avec tous les autres cas de C, et en même temps qualitativement similaire en E'' avec tous les autres cas de C, etc., alors cet unique cas serait à la fois E, E', et E'', qui sont des qualités incompatibles sous le même rapport. Donc être instance de différentes équations ne peut pas être une caractéristique qualitative.

Voici donc quel est le problème : il faut expliquer en quel sens non-qualitatif des faits peuvent être « similaires » comme instances d'une équation *E*, pour être dits confirmer ensemble une même hypothèse inductive *E*, et en même temps, pour qu'ils puissent confirmer sans incompatibilité les hypothèses incompatibles E', E'', etc.

Ce problème peut être reformulé comme problème touchant l'application des concepts mathématiques. En effet, la réunion des différents cas dans la classe des instances de l'équation *E* n'est possible que par le truchement de ce prédicat E(.), c'est-à-dire par l'application du concept mathématique qu'il désigne (le concept de l'équation E). Autrement dit, l'unification des divers cas dans une classe d'instances d'une même hypothèse dépend entièrement de l'application d'un concept mathématique pour formuler cette hypothèse. Le fait que divers faits apparaissent, malgré leurs différences, comme instances d'un même énoncé vient de ce qu'ils sont regroupés par un concept mathématique, comme une fonction ou une équation. C'est la raison pour laquelle nous parlons de « confirmabilité mathématique » : le critère de Nicod de confirmabilité d'une hypothèse par ses instances ne s'applique, dans le cas de l'induction variationnelle, que dans la mesure où un ou plusieurs concepts mathématiques sont appliqués, car c'est grâce à eux que divers faits différents sont décrits comme des cas particuliers d'une même hypothèse (équationnelle). Nous appelons « application nomologique des mathématiques » dans le cas de la confirmation une application d'un concept mathématique à la formulation d'un énoncé qui est nomologique, c'est-à-dire légitimement confirmé par ses instances particulières (d'après le critère de Nicod). Les mathématiques sont nomologiquement applicables si elles produisent des lois mathématisées où le critère de Nicod est légitimement applicable.

Or, pour que les mathématiques soient applicables en ce sens, il faut trouver quelle « similarité » un concept mathématique *E* peut bien capturer et désigner dans des faits physiques différents, sachant que les mêmes faits peuvent être aussi « similaires » par d'autres concepts mathématiques *E', E''*, etc., différents. Si nous trouvons une réponse à cette question, alors nous aurons montré à quelle condition les mathématiques sont légitimement applicables dans la formulation d'énoncé nomologique. Si nous n'en trouvons pas, alors la mise en ordre et le regroupement des particuliers physiques par des concepts mathématiques, comme cas d'une même hypothèse, devra nous apparaître comme un classement arbitraire, et l'hypothèse comme n'étant pas confirmable par ses instances.

Nous pensons que la réponse à cette question est ontologique, et nous allons montrer que c'est précisément l'ontologie des lois quantitatives de la nature développée au chapitre VI qui est le fondement de possibilité de l'application nomologique des mathématiques. Mais nous n'y arriverons pas directement. Dans l'économie ce chapitre, le fil de cette discussion et l'examen d'une solution ontologique à ce problème ne reprendra qu'à la section 3. La fin de la section 1. et toute la section 2. sont consacrées à la discussion de la « nouvelle énigme de l'induction » de Goodman et de son application concrète au cas de l'interpolation des courbes mathématiques. On a certainement déjà perçu la connexion entre le problème que nous venons de poser et l'énigme de Goodman. Sa discussion précise nous aidera à beaucoup mieux comprendre notre propre problème et à introduire les outils conceptuels pour y répondre moins abruptement.

1.2.Le problème de Goodman et l'interpolation.

Le problème que nous posons au critère de Nicod tourne donc autour de la notion de « similarité » : il nous faudra trouver quelle « similarité » un concept mathématique *E* peut bien capturer et désigner dans des faits physiques différents, pour qu'ils confirment la même hypothèse formulée avec *E,* et sachant que les mêmes faits peuvent être aussi « similaires » par des concepts mathématiques *E', E''*, etc., différents, et donc confirmer d'autres hypothèses incompatibles avec la première. C'est pourquoi nous devons maintenant présenter la « nouvelle énigme de l'induction » de Goodman, dont le but est précisément de poser un problème au critère de Nicod à partir de la notion de « similarité » (section 1.2.1.). Notre objectif est de comprendre précisément la différence entre le problème que nous posons et l'énigme de Goodman, et c'est pour cela qu'ensuite nous essaierons d'appliquer le problème de Goodman au cas de l'interpolation : pourquoi faut-il tenir la courbe E, plutôt que E', E'', etc., pour confirmée par un même nuage de points ? (section 1.2.2.) Alors nous verrons que l'interpolation pose problème au problème de Goodman, comme s'il était mal taillé pour s'appliquer à un cas de confirmation où les mathématiques ont un grand rôle (section 1.2.3.), avant de proposer une reformulation de *notre* problème de la confirmabilité mathématique (déjà formulé à la section 1.1.3.2.) : comment expliquer que dans le cas de l'interpolation, le problème de Goodman précisément *ne se pose pas* (section 1.2.4.) ?

1.2.1. La « nouvelle énigme de l'induction » de Goodman.

Voyons comment (Goodman, 1954a) présente le passage de l'ancien problème métaphysique de l'induction à ce qu'il appelle la « tâche constructive d'une théorie de la confirmation ». L'ancien problème de l'induction demande sur quel fondement on peut généraliser à tous les phénomènes concernés une régularité que l'on a observée et étudiée pour une portion finie d'entre eux, et par conséquent prédire que *tous* ces phénomènes suivent cette régularité. Le défi classique de l'induction est alors de trouver une justification au « principe d'uniformité de la nature » (*cf* chapitre VII section 2.). Hume a montré non seulement qu'un tel fondement était inatteignable, mais aussi que c'est l'habitude et l'expérience passée qui expliquent le processus psychologique par lequel on tend à croire que le principe d'uniformité de la nature est vrai et que le futur ressemblera au passé. Mais, si Hume explique *comment* nous faisons certaines généralisations, il ne dit pas selon Goodman *si* ces généralisations sont *légitimes*, ni pourquoi faire celles-ci plutôt que d'autres. De fait, l'habitude conduit par exemple à croire que toutes les émeraudes, même celles non-observées, sont vertes. Mais de quel droit penser que *s'*il y avait un comportement régulier des émeraudes, ce serait celui-ci ? Hume explique comment on en vient à forger une hypothèse inductive à partir d'observations répétées et des mécanismes psychologiques de la croyance. Goodman demande ce qui justifie qu'on tienne cette

hypothèse pour légitimement confirmée par l'expérience, alors que d'autres, tout aussi compatibles avec l'observation, ne sont pas envisagées.

Pour y parvenir, Goodman doit montrer comment forger des généralisations ou hypothèses qui sont compatibles avec les données, mais que pourtant personne ne tiendrait pour confirmées par elles La généralisation « Toutes les émeraudes sont vertes si observées avant *t*, ou bleues sinon » (avec *t* une date future) est tout à fait compatible avec l'expérience acquise, puisque toutes les émeraudes observées le sont avant *t* et sont vertes. A partir d'un même ensemble de faits observées, deux généralisations à toutes les émeraudes sont possibles, et on ne voit *a priori* pas de raison de justifier pourquoi choisir la généralisation « Toutes les émeraudes sont vertes ».

Le but de Goodman est de poser un problème au critère de Nicod. Or, si une généralisation est *légitimement* confirmée par l'observation de ses instances, alors la généralisation « Toutes les émeraudes sont vertes si observées avant *t*, ou bleues sinon » est tout autant confirmée que « Toutes les émeraudes sont vertes ». Or elle est manifestement aberrante et totalement artificielle, et il serait souhaitable de trouver une raison de ne pas la tenir pour confirmée par les émeraudes observées. On parle de « généralisations accidentelles » à propos des énoncés qui désignent des régularités simplement par accident, et qu'on voudrait distinguer des énoncés nomologiques qui sont authentiquement confirmés par leurs instances. Le problème découvert par Goodman est que le critère de Nicod ne suffit manifestement pas pour *légitimer* la confirmation d'un énoncé général par ses instances.

Goodman formule ce problème dans le vocabulaire de la projectibilité des prédicats et construit le prédicat 'vleu'. Un prédicat P est projectible s'il est légitime de s'attendre à ce que les objets non-observés soient P comme l'étaient les objets observés, au sein d'une classe pertinente d'objets[121]. Toutes les émeraudes que nous avons observées sont vertes et tombent dans l'extension de ce prédicat. Le prédicat 'vert' est-il projectible des émeraudes observées vers les autres ? On peut adapter le critère de Nicod comme critère de légitimité de la projection des prédicats : si un ensemble d'objets observés qui sont F sont aussi G, alors leurs observations confirment la généralisation que tous les objets qui sont F sont aussi G. D'après ce critère, il semblerait alors légitime de tenir la généralisation « Toutes les émeraudes sont vertes » pour confirmée par ces observations.

Soit maintenant le prédicat 'vleu', tel que Goodman le définit originellement dans *Faits, Fictions et Prédictions* : « être observé avant *t* et être vert, ou être bleu sinon » (Goodman, 1954a, p. 74). La « nouvelle énigme de l'induction » surgit quand on s'aperçoit que rien, dans les observations

---

[121] Le qualificatif « projectible », d'abord accolé aux *prédicats* chez Goodman, a parfois été associé aux *propriétés ou caractéristiques* des objets eux-mêmes, dans la littérature sur le problème de Goodman. On parle alors non plus de prédicats, mais de « propriétés projectibles », passant sans nuance du sens linguistique au sens objectif de la projectibilité – et suivant d'ailleurs en cela Goodman lui-même (qui parle aussi de « la projection d'une caractéristique d'un domaine *d'objets* dans un autre » (Goodman, 1946) (nous soulignons). Il y a là une facilité de langage que l'on s'autorise aussi quand on dit qu'une hypothèse est confirmée par *l'observation* de ses instances, alors que la relation de confirmation ne concerne rigoureusement que des énoncés. Comme la question de la réalité des propriétés désignées par ces prédicats n'est pas tranchée dans le problème de Goodman, nous demandons aux lectrices et lecteurs de nous autoriser ces facilités.

des émeraudes vertes, ne nous interdit de projeter ‘vleu’ plutôt que ‘vert’, puisque toutes les émeraudes observées sont aussi vleues. La généralisation ‘Vleu’ possède, dans le domaine des émeraudes observées, exactement les mêmes instances que la généralisation ‘Vert’[122]. On devrait donc les tenir pour également confirmées. Pourtant, le prédicat ‘vleu’ nous semble aberrant et non-projectible, et la généralisation ‘Vleu’ accidentelle. L’application du seul critère de Nicod produit donc un résultat paradoxal, qui choque l’intuition première à l’égard de ce type de prédicats incongrus. Il ne peut donc pas être pris comme un critère de confirmation légitime, et doit être renforcé ou complété par un autre critère, permettant de distinguer les énoncés nomologiques des généralisations accidentelles.

L’« énigme » (*riddle*) de Goodman correspond alors au défi de trouver un moyen de distinguer les généralisations accidentelles des généralisations nomologiques, que l’on peut légitimement tenir pour confirmées par leurs instances positives. Toute une branche de la littérature sur le problème de Goodman rassemble des propositions de réponses à ce défi, et leur discussion. On a pensé que le prédicat ‘vert’ se distinguait de ‘vleu’ parce qu’il était purement qualitatif et non positionnel (Carnap, 1947), c'est-à-dire qu’il ne contenait aucune référence à des circonstances particulières de temps et de lieu. On a aussi proposé de le distinguer parce qu’il capturait une espèce naturelle, ce que ne fait pas le prédicat ‘vleu’ (Quine, 1969). Encore, on a mis en avant la différence épistémologique entre les deux prédicats, puisqu’on n’accédait pas de la même manière à la vérification d’un état de chose vert et à celle d’un état de choses vleu (Barker & Achinstein, 1960), (Hetherington, 2001)[123].

Mais en tout premier lieu, il y a la solution particulière de Goodman lui-même, qui propose la notion *d’entrenchment*. Un prédicat est d’autant plus projectible qu’il est implanté (*entrenched*) dans les pratiques inductives passées (Goodman, 1954b), c'est-à-dire qu’il a été fréquemment utilisé et projeté par les locuteurs. Si l’implantation d’un prédicat est une mesure linguistique, qui renvoie à la fréquence d’utilisation du mot, elle est bien souvent l’indice d’un succès empirique important des projections passées. En tous cas, cette implantation fonde, dans nos pratiques linguistiques présentes, la simplicité relative d’un prédicat par rapport à un autre. Le fait que le prédicat ‘vert’ ait été plus fréquemment projeté par le passé – et avec certainement plus de succès que le prédicat ‘vleu’ – nous fonderait à le tenir maintenant pour beaucoup plus projectible, car « être vert » nous semble beaucoup plus simple qu’« être vleu ». Cela ne montre pas que les émeraudes vertes forment une classe naturelle, ni que ce succès continuera nécessairement dans le futur, mais nous encourage à faire la généralisation ‘Vert’. Cette solution ne repose pas sur la signification ou la référence d’un prédicat à des propriétés réelles ou des classes naturelles. Elle ne repose pas non plus sur une différence dans la syntaxe du prédicat ‘vleu’,

---

[122] Dans la suite, nous désignons la généralisation (ou l’hypothèse) « Toutes les émeraudes sont vertes » comme la généralisation ‘Vert’, et « Toutes les émeraudes sont vleues » comme la généralisation ‘Vleu’. Les majuscules distinguent les généralisations des prédicats projetés ‘vert’ et ‘vleu’.

[123] Pour un aperçu des contributions essentielles à cette littérature, voir (Stalker, 1994) et (Elgin, 1997).

qui serait moins simple que celle du prédicat 'vert'. C'est une solution ni sémantique, ni syntaxique, mais pragmatique[124].

Comme nous n'allons pas nous-mêmes discuter ces solutions ni proposer de nouveau critère, finissons en soulignant l'importance reconnue à ce problème. L'exemple de la généralisation 'Vleu' a été forgé pour rendre problématique la confirmation des généralisations empiriques et qualitatives comme « Toutes les émeraudes sont vertes ». Autrement dit, il concerne principalement l'induction énumérative, qui n'est pas la plus fréquente ni la plus pertinente dans la pratique scientifique. Mais il est généralement admis que ce problème peut être considérablement étendu jusqu'à concerner le choix entre des théories empiriquement équivalentes. On parle d'équivalence empirique entre deux théories lorsque ces deux théories permettent de prédire un même ensemble de données empiriques disponibles à un moment t[125]. Le problème de Goodman a donc une portée très générale, et bien qu'on s'en tienne ici aux énoncés nomologiques impliquant des prédicats observationnels ou des concepts au contenu empirique (comme les lois phénoménologiques), il peut concerner aussi les énoncés théoriques.

Dans la suite de ce travail, nous n'allons pas tenter de résoudre à notre tour l'énigme de Goodman en proposant un critère plus fort que celui de Nicod, qui le complète, pour parvenir à distinguer entre généralisations nomologiques et généralisations accidentelles. Mais nous allons nous *servir* de ce problème pour éclairer le nôtre : en montrant qu'il y a des cas manifestes de confirmation d'énoncés mathématiques (cas de l'interpolation étudié ci-dessous) où le problème de Goodman *ne se pose pas*, notre but sera de comprendre pourquoi. Que doit être et désigner un énoncé nomologique mathématiquement formulé, pour que le problème de Goodman ne se pose pas à son égard ?

1.2.2. Le problème de Goodman étendu à l'interpolation.

L'interpolation désigne la démarche par laquelle, à partir de la représentation de données expérimentales sur un graphe, on cherche à inférer de ces données la courbe dont elles sont les cas particuliers, en établissant une relation de confirmation entre la courbe et les points. L'interpolation est donc un cas de confirmation d'un énoncé général mathématiquement formulé (l'équation ou l'énoncé

---

[124] On a pu dénoncer un cercle entre les notions d'*entrenchment* et de *projectibility*. En effet, si la projectibilité d'un prédicat se caractérise par son implantation présente, et que cette dernière se réduit à la fréquence de sa projection passée, cela revient à dire que plus un prédicat a été projeté, plus il est projectible. Mais passer ainsi du fait de la projection au droit de la projectibilité n'est pas une pétition de principe, qui reviendrait à dire qu'un prédicat est implanté parce qu'il est implanté. Au contraire, on a défendu ce mécanisme d'autojustification pragmatique de la projection en le désignant comme un « équilibre réflexif », qui n'a rien de vicieux (Bates, 2005).

[125] Voir aussi sur ce sujet (Maxwell, 1993). Il faut distinguer l'équivalence empirique dont on parle ici, qui est *faible*, d'une équivalence empirique *forte* entre deux théories. Cette dernière désigne une situation de sous-détermination empirique définitive où non seulement aucune observation *déjà effectuée* ne permet de trancher, mais surtout aucun phénomène ne observable ne permettrait en principe de le faire. C'est un cas de figure dont la réalité épistémologique est beaucoup plus contestée, voir (Ladyman & Ross, 2007, p. 80) et (Laudan & Leplin, 1991). Surtout il n'est pas certain qu'il puisse se traduire dans les termes du problème de Goodman, dont tout l'intérêt est de présenter comme également confirmables des hypothèses *qui ont des prédictions phénoménales incompatibles*. Or ce n'est pas le cas si elles sont fortement équivalentes.

plus complexe décrivant la courbe) par ses cas particuliers. Or il n'y a pas une unique courbe qui passe par ces points, et on peut en dessiner et formuler beaucoup dont ces points sont des cas particuliers. Faut-il alors toutes les tenir pour confirmer ? On se retrouverait dans une situation tout à fait semblable à celle imaginée par Goodman, où la généralisation 'Vert' et la généralisation 'Vleu' sont toutes les deux confirmées par les émeraudes observées. Peut-on alors appliquer le problème de Goodman au cas de l'interpolation ? Nous allons voir que cette application n'est pas évidente, et qu'il existe au contraire des conditions dans lesquelles ce problème ne s'y applique pas ou plutôt, dans lesquelles *on ne peut pas le poser*. Nous pourrons alors poser notre propre problème : pourquoi, dans le cas de l'interpolation, c'est-à-dire dans certaines conditions précises de confirmation de lois physiques mathématisées, le problème de Goodman *ne se pose pas* ?

Le rapprochement entre la question de l'interpolation et le problème de Goodman a été fait par Hullett et Schwartz :

> Considérons le cas de l'extrapolation : étant donné un ensemble de points sur un graphe, qui pourraient être connectés par un nombre indéfini de courbes différentes, quelle est la meilleure courbe qu'on puisse tracer entre ces points, sachant que chaque point sur la courbe choisie (hormis ceux qui représentent les données de départ) constitue une prédiction à propos d'un cas non-observé ? (Hullett & Schwartz, 1967)

Choisir une courbe qui passe par toutes les données revient à produire et représenter une généralisation de ces données, et donc à forger une hypothèse qui contient ces données comme ses cas particuliers observés, et des prédictions concernant des cas particuliers non-observés. Si l'on considère ainsi que la relation d'appartenance entre un point représentant une observation et la courbe représentant la loi hypothétique signifie que ce point est une instance de cette courbe, alors on peut appliquer le critère de Nicod : ces points observés pourraient confirmer la courbe[126]. Le problème de l'interpolation (*the curve-fitting problem*) est alors celui de trouver un moyen, ou un critère, pour choisir la bonne courbe, sachant qu'une multiplicité de courbes sont possibles qui passent toutes par les points observés (DeVito, 1997). On peut y voir une application concrète du problème de Goodman dès lors que ces différentes courbes possibles sont toutes tenues pour *confirmées* par les observations d'après le critère de Nicod, et que l'on considère que cette multiplicité de courbes confirmées à un instant *t* (ou pour une quantité donnée d'observations) est problématique pour la méthode scientifique.

Le mérite d'Hullett et Schwartz est de bien voir que, dans l'application du problème de Goodman à l'interpolation, le paramètre temporel présent dans le prédicat « vleu » (la date « t »)

[126] Évidemment, nous négligeons ici la question importante des erreurs de mesure, qui dans la pratique entraînent sur le graphe un écart entre les points des observations et les positions sur la courbe qu'ils devraient avoir s'il n'y avait pas d'erreur. Par conséquent, assimiler la relation « être une instance de » à la relation « appartenir à » entre un point et une courbe ne peut convenir rigoureusement. Mais il est plausible qu'une théorie probabiliste des erreurs de mesure fournisse les moyens d'amender cette analyse pour prendre en compte cette difficulté.

disparaît, et que par conséquent, la dimension temporelle n'est pas essentielle pour poser ce problème. Cela permet de clore une discussion entre Goodman et Carnap autour du rôle joué par le paramètre temporel dans l'énigme.

En effet, pour répondre au défi de Goodman et distinguer entre prédicats projectibles et prédicats non-projectibles, Carnap a proposé le critère de non-positionalité. Le prédicat « vleu » est positionnel, puisqu'il contient une référence à une circonstance particulière de temps et de lieu, la fameuse date *t*. Au contraire, le prédicat 'vert' s'en distingue parce qu'il était purement qualitatif et non positionnel (Carnap, 1947). Dans l'esprit de Carnap, cette différence permet de faire le tri entre les généralisations nomologiques et les accidentelles, dans la mesure où les premières devraient concerner ce que sont les particuliers (par exemple les émeraudes) indépendamment de leurs singularités spatio-temporelles. Goodman a répondu que la non-positionalité du prédicat, qui est un aspect syntaxique, dépend du cadre linguistique où l'on se situe. Dans un monde modelé par un langage où 'vleu' et 'blert' sont des prédicats simples et qualitatifs, ce sont les prédicats 'vert' et 'bleu' qui nécessitent, pour être définis, l'introduction de caractéristiques positionnelles. Dans un tel cadre en effet, « être vert » signifie « être vleu si observé avant t, ou blert sinon ».

Dans ce débat entre Goodman et Carnap, le paramètre temporel joue le rôle de la caractéristique accidentelle. Mais il n'est pas innocent de la part de Goodman d'avoir choisi le temps pour ce rôle. C'est en effet le temps qui est traditionnellement conçu comme la dimension dangereuse pour l'induction, qui ne serait pas possible si, comme le disait Hume, le futur ne ressemblait pas au passé. Même en passant de l'ancien problème à la nouvelle énigme, on hérite encore d'une conception du temps comme dimension où des caractéristiques accidentelles des particuliers peuvent survenir. Or, dans l'interpolation d'une courbe, le temps n'apparaît que s'il est l'une des grandeurs mesurées ou pertinentes de nos observations. En émancipant le problème de Goodman du parasitage de ce paramètre temporel issu de la tradition, Hullett et Schwartz l'éclaircissent considérablement :

> 'Vleu' est censé servir, selon nous, de modèle pour tout prédicat dont la projection donnerait des prédictions aussi étranges. En tant que tel, tout caractère temporel que le prédicat 'vleu' se trouve avoir est purement accidentel. Pour formuler l'énigme, il n'est évidemment pas nécessaire qu'un des axes gradue une localisation spatiale ou temporelle. En effet, l'énigme apparaît quelles que soient les propriétés qui sont placées le long de l'axe des x ou des y (c'est-à-dire pression et volume, densité et température, etc.), tant qu'il y a des valeurs qui n'ont pas encore été déterminées. (Hullett & Schwartz, 1967, p. 261)

Ces deux auteurs proposent donc de considérer le problème de l'interpolation mathématique d'une courbe à partir de points correspondant à des données observables comme un cas particulier, particulièrement pertinent pour la philosophie des sciences, du problème général de Goodman. Il s'agirait là aussi de trouver un critère pour distinguer les interpolations nomologiques, authentiquement

confirmables par les observations, des interpolations aberrantes. Précisons que ce critère ne doit exclure que les interpolations aberrantes, et non pas *toutes* les interpolations incorrectes (qui ne sont pas toutes aberrantes), car c'est un critère de confirmabilité, et non de correction. Une interpolation est incorrecte quand elle n'infère pas la bonne courbe à partir du nuage de points. Mais « incorrecte » ne signifie pas qu'on ne devrait pas la tenir pour *confirmable* par ses instances : on peut la tenir pour bien confirmée, jusqu'à ce que de nouvelles observations nous prouvent qu'elle n'est pas la bonne. Elle est donc confirmable par ses instances positives, et infirmée par ses instances négatives, et donc le critère de Nicod s'y applique très bien. Tout le problème que nous allons poser maintenant est de savoir à quel titre on peut tenir une interpolation pour aberrante ou non-confirmable (non-nomologique).

1.2.3. Un problème se pose au problème de Goodman.

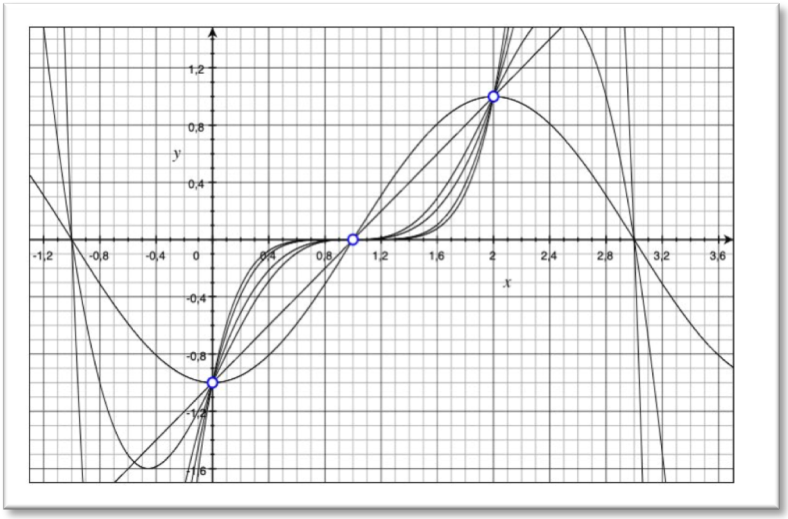
En effet, le critère de Nicod peut bien conduire à tenir plusieurs hypothèses pour confirmées par les mêmes observations, et cela n'est problématique que lorsqu'une de ces hypothèses est manifestement aberrante. C'est le cas dans l'exemple forgé par Hullett et Schwartz, qui imaginent une version aberrante – nous dirons aussi « vleuïfiée » – de la loi phénoménologique reliant la pression et la température :

> Supposons avoir des données de pression et de température jusqu'à 50 atmosphères de pression, et que les points qui regroupent les données satisfont l'équation V = 1/P. Une question apparaît alors : que prédisons-nous pour P supérieur à 50 ? Nous avons un choix à faire entre V = 1/P et plein d'autres prédictions telles que V = (l/p si p < 50) v (2/p si p > 50). Pour chacune de ces projections, les preuves empiriques sont rigoureusement les mêmes, et il n'y a aucune différence dans le type ou le nombre des observations ou dans les présuppositions épistémiques que nous devions faire. Dans chacun des cas, nous ne connaissons que certaines valeurs de P et V, où P est toujours inférieur à 50. (Hullett & Schwartz, 1967, p. 266)

Ce n'est pas vrai qu'aucune présupposition épistémique ne permettrait de distinguer les deux équations. La première fait du volume une fonction *continue* de la pression, tandis que la seconde prédit un saut *discontinu* du volume au passage d'une valeur de pression de 50 atmosphères. Pour qu'un scientifique considère que les deux hypothèses sont également confirmées par les données expérimentales, il faut donc d'abord qu'il admette que les variations du volume d'un gaz en fonction de sa température peuvent être discontinues comme continues. S'il ne l'admet pas, on peut néanmoins imaginer une courbe qui passe par les points observés, qui est continue et qui est différente de V = 1/P. Il n'est même pas nécessaire que cette deuxième courbe se confonde avec la première pour tous les points de la région des valeurs observées (les pressions inférieures à 50). S'il l'admet au contraire, parce qu'aucun présupposé physique d'arrière-plan ne permet d'exclure les variations discontinues, alors

l'équation imaginée par Hullett et Schwartz est admissible. Mais dans un cas comme dans l'autre, les deux hypothèses validées par le critère de Nicod sont compatibles avec nos connaissances ou présuppositions d'arrière-plan, et les deux représentent des évolutions physiquement possibles du volume en fonction de la pression. Or, dans ce cas, on ne voit alors plus ce qui nous permet de dire que cette situation est problématique, et qu'une de ces hypothèses est *évidemment* non nomologique. On serait alors dans une situation bel et bien goodmanienne, au sens où le critère de Nicod nous permet de tenir pour confirmée non pas une, mais plusieurs hypothèses incompatibles. Cependant, cette situation ne serait pas épistémologiquement problématique, et aucun « problème de Goodman » ne se poserait.

(Hempel, 1960) aperçoit paradoxalement comment l'interpolation reproduit bien une situation goodmanienne, sans voir qu'elle annule en même temps son caractère problématique. Il imagine qu'on a mesuré, en laboratoire, trois couples de valeurs de deux grandeurs physiques *x* et *y* : (0,-1), (1,0) et (2,1). Or ces trois points sur le plan *x.y* peuvent être parcourus par au moins six fonctions différentes.



Graphique 1 (Source : Grapher)

On voit sur ce graphique représentées les six fonctions suivantes :

$F1: y = (x - 1)$

$F2: y = (x - 1)^3$

$F3: y = (x - 1)^5$

$F4: y = cos\,\pi\left(1 - {}^{x}/_{2}\right)$

$F5: y = (x - 1)^2\, cos\,\pi\left(1 - {}^{x}/_{2}\right)$

$F6: y = (x - 1)^4 cos\,\pi\left(1 - {}^{x}/_{2}\right)$

Si on tient le critère de Nicod pour un critère de légitimité de la confirmation, et qu'un point correspondant à une observation confirme la courbe à laquelle il appartient, alors les six courbes décrites par les équations F1 à F6 sont confirmées par les trois observations. Commentant cet exemple, Hempel explique que :

> [Cela] semble ajouter une nouvelle facette à l'important problème soulevé par Goodman. En effet, on accorderait volontiers qu'une généralisation comme « toutes les émeraudes sont vleues » n'est pas nomologique, et que son application à des cas d'émeraudes non observées n'est pas motivée par le constat préalable de ses instances ; mais parmi les généralisations incompatibles qu'on peut obtenir comme dans l'exemple du dessus [i.e. le cas de l'interpolation des courbes], il y en a beaucoup qui nous sembleraient

> également nomologiques, et donc également capables d'être confirmées par leurs instances. (Hempel, 1965, p. 57)

Hempel affirme sans hésitation que les six hypothèses incompatibles sont également nomologiques, c'est-à-dire capables d'être confirmées légitimement par l'observation de leurs instances. Si c'est bien le cas, nous en concluons qu'une branche indispensable du *problème* de Goodman est retirée et qu'il ne peut pas se poser. Dans la mesure où aucune hypothèse ne semble aberrante, il n'y a plus aucune raison de tenir le critère de Nicod pour insuffisant et chercher à distinguer des hypothèses nomologiques d'autres aberrantes. Mais Hempel n'en tire pas cette conclusion, puisqu'il soutient que même en se limitant à des hypothèses toutes nomologiques, leur confirmation conjointe par les mêmes observations produit une « inconsistance inductive » similaire à celles décrites par Goodman :

> Chacune de ces généralisations deux à deux incompatibles me paraît représenter un énoncé parfaitement nomologique, capable d'être confirmé par ses instances avérées. Par conséquent, même en limitant l'usage de notre règle élémentaire d'induction [le critère de Nicod] aux cas où la conclusion est un énoncé nomologique, nous pourrions peut-être éliminer les inconsistances inductives du type de celles construites par Goodman, mais nous serions toujours en face d'un ensemble inconsistant d'hypothèses. (Hempel, 1960)

Hempel estime que tenir pour également confirmées les différentes courbes F1 à F6 est une « inconsistance inductive » quand bien même ces diverses hypothèses semblent toutes nomologiques. Or manifestement Hempel présuppose ici une thèse qui n'est pas présente, ou en tout cas pas essentiellement en jeu chez Goodman, à savoir que tenir *plusieurs* énoncés logiquement incompatibles pour « confirmés » est une inconsistance logique. Une bonne raison de le penser est que tenir une hypothèse pour confirmée inductivement implique de la tenir pour vraie, et donc que penser au contraire l'hypothèse *H* confirmée mais fausse relève d'une attitude épistémologique paradoxale (du type des paradoxes mooréens). On peut aussi défendre la thèse opposée, en refusant cette raison : il est tout à fait acceptable, même après le rejet expérimental d'une hypothèse *H* que l'on tient pour réfutée par l'évidence empirique *e'*, de continuer de la tenir pour confirmée par les preuves précédentes *e*.

Derrière l'extension apparemment formidable du problème de Goodman, on voit surgir une différence majeure : tandis qu'avant, une seule généralisation nous paraissait nomologique (la verte), tandis que l'on pensait l'autre aberrante (la vleue), et que le défi était de donner une formulation et un critère précis pour cette différence, maintenant toutes les hypothèses nous semblent nomologiques. Et comme Hempel présente des hypothèses qui sont toutes aussi nomologiques les unes que les autres, aucun critère épistémologique, qui relèverait d'une logique de la confirmation, ne pourrait distinguer entre certaines de ces hypothèses qui seraient nomologiques, et d'autres qui ne le seraient pas. En

revanche, si toutes sont nomologiques, alors toutes sont capables d'être confirmées par des instances positives, et infirmées par des instances négatives. Donc s'il y a un discernement à faire entre ces hypothèses, c'est d'abord et avant tout selon un critère expérimental et non logique.

Dès lors que toutes les interpolations mathématiques qu'on peut imaginer nous apparaitraient, en principe, comme nomologiques, il est visible qu'on a changé de problème. Le problème *épistémologique* de Goodman ne se pose plus, parce qu'il n'y a plus de différence à faire entre hypothèses nomologiques et hypothèses aberrantes. Toutes les courbes semblent nomologiques, et le problème de Goodman semble avoir tout bonnement disparu. L'application du critère de Nicod donne bien plusieurs énoncés confirmés par les mêmes observations. Mais cette situation n'est tout simplement pas problématique, et elle est bien traitée par la méthode du test expérimental standard.

1.2.4. Problématisation de la confirmabilité mathématique (II).

Nous pouvons maintenant formuler le problème de la confirmation mathématique. Il est un problème qui se pose au problème de Goodman lui-même. Il existe des situations, comme le cas de l'interpolation d'une courbe, où ce problème ne se pose pas, et où il n'y aucun souci avec le critère de Nicod, parce que diverses hypothèses inductives incompatibles sont confirmées par les données expérimentales présentes, mais peuvent être triées par des expériences futures ou possibles. Pour toutes ces situations, le fait que le problème de Goodman ne se pose pas est évidemment une bonne nouvelle pour la pratique scientifique, où la méthode de confirmation (ou réfutation) expérimentale des hypothèses est restaurée dans son plein droit. Mais d'un point de vue épistémologique, cela signale plutôt un déplacement du problème, dans la mesure où nous ne savons pas *pourquoi* ces situations-là ne sont pas problématiques. Tâchons de formuler plus précisément notre problème.

Nous appelons « situation goodmanienne » une situation épistémologique où on possède, après application du critère de Nicod, plusieurs hypothèses inductives qui (1) sont confirmées par les mêmes instances, (2) sont toutes compatibles avec les connaissances physiques d'arrière-plan et (3) sont néanmoins incompatibles entre elles concernant des cas non-observés (où conduisent à des prédictions incompatibles). Nous supposons aussi, contrairement à Hempel, une logique de la confirmation où il n'est pas incohérent de tenir ces diverses hypothèses pour toutes confirmées, bien qu'elles ne puissent aucunement être toutes vraies (une seule peut l'être).

Dans la description que nous donnons des situations goodmaniennes, la condition (2) peut être précisée, car elle est cruciale. On pourrait craindre qu'elle permette d'entrer de jeu de disqualifier des hypothèses physiquement aberrantes, comme la généralisation « Toutes les émeraudes sont vleues », ou bien la courbe qui décrit une variation discontinue du volume d'un gaz en fonction de sa pression, au motif que ces hypothèses sont contredites par ce que l'on sait ou suppose de la nature des choses physiques en question. Son effet visé est inverse bien au contraire. Ne sait-on pas très bien que les

cristaux ne changent pas de couleur du jour au lendemain, et aussi, que le volume d'un gaz varie de manière continue en fonction de la température ? Peut-être, mais si on le *sait*, et que ces propositions ne sont plus des hypothèses mais des connaissances, alors ce sont tout simplement de très mauvais exemples de situations goodmaniennes, et il n'est pas difficile de migrer vers des questions physiques où la certitude n'est pas de mise. En posant son problème, Goodman présuppose évidemment qu'aucune *connaissance* physique ne nous permet d'exclure que toutes les émeraudes sont vleues – et on peut très bien le défendre, en avançant que ce que l'on *sait*, c'est simplement que toutes les émeraudes observées avant *t* sont vertes. Pour que l'exemple 'vleu' soit un bon exemple, il faut que l'hypothèse d'un changement de couleur dans les émeraudes (décrit par la projection du prédicat 'vleu' à toutes les émeraudes) soit physiquement possible d'après les *connaissances* qu'on a, et aussi improbable que semble la vérité de cette hypothèse. Il en va de même pour la topologie de la courbe reliant le volume et la pression d'un gaz : si on sait qu'elle est continue, il n'y a plus qu'à poser une situation goodmanienne avec plusieurs courbes continues. L'effet de la condition (2) est donc bien plutôt de garantir que, à *connaissances* physiques constantes, plusieurs hypothèses concernant un domaine de phénomènes sont physiquement acceptables, c'est-à-dire représentent des changements physiquement possibles d'après ces connaissances.

Dans l'exemple imaginé par Goodman, la confrontation des généralisations 'Vert' et 'Vleu' aux émeraudes observées jusqu'ici produit bien une situation goodmanienne de ce type ; et de surcroît, il est généralement admis que cette situation pose un sérieux problème à la logique de la confirmation et au critère de Nicod, dans la mesure où on ne peut pas accepter une généralisation comme « Toutes les émeraudes sont vertes » comme confirmée. Dans cette situation goodmanienne, l'application du critère de Nicod ne semble pas légitime sans distinction. Comme on ne voit pas pourquoi il serait applicable à la généralisation 'Vert' et non à la 'Vleu', il faut suspendre son application jusqu'à ce qu'un moyen soit trouvé de distinguer entre les généralisations nomologiques et les accidentelles. Dans le cas de l'interpolation, diverses courbes sont confirmées par les points qu'elles enveloppent, donc on est aussi dans une situation goodmanienne ; pourtant, on admet que les diverses hypothèses sont toutes nomologiques, et qu'aucun problème n'est soulevé par le critère de Nicod. Il s'applique aux différentes hypothèses interpolées, sans que cette pluralité de propositions nomologiques ne pose problème au point de vue épistémologique. Autrement dit, c'est une situation goodmanienne non-problématique.

Le problème que nous posons alors est de chercher la raison pour laquelle certaines situations goodmaniennes ne sont pas problématiques, tandis que d'autres semblent l'être. Pour ainsi dire, notre problème est de comprendre pourquoi il n'y a pas de problème de Goodman dans certaines situations goodmaniennes. C'est pourquoi nous n'allons pas du tout chercher à imaginer et proposer une solution au problème de Goodman, mais plutôt *utiliser* le problème lui-même comme un outil de découverte, et révélateur des solutions qui existent déjà dans les situations où il est *ipso facto* résolu. Et, comme dans ces situations le langage mathématique est généralement utilisé pour formuler les hypothèses

confirmables, nous parlons alors du problème de la « confirmabilité mathématique ». En somme, nous voulons montrer comment l'application des mathématiques dans la formulation des hypothèses inductives les rend nomologiques, en fondant la légitimité de l'application du critère de Nicod. Pour y parvenir, nous devons étudier de près le problème de Goodman et expliciter précisément les conditions sous lesquelles il peut se poser ou ne se pas poser.

2. Les conditions du problème de Goodman.

Dans cette section 2., nous allons faire ressortir les conditions sous lesquelles les situations goodmaniennes sont problématiques ou ne le sont pas. A quelles conditions l'application du critère de Nicod est-elle légitime, et une situation où plusieurs hypothèses inductives incompatibles confirmées par les mêmes observations n'est-elle pas problématique ? Pour ce faire, il est utile de partir des discussions qui dans la littérature ont spécifiquement porté sur le problème de Goodman lui-même, sa nature et sa signification. Nous commencerons par aborder avec Hacking les présuppositions nominalistes de l'énigme avant de passer en revue la polémique récente entre Israël et Kowalenko concernant la signification du prédicat 'vleu' (section 2.1.). Ces discussions feront ressortir la nécessité de poser un cadre commun et unique pour discuter des différentes formes d'induction en question (énumérative et interpolation) (section 2.2.). Nous nous servirons de ce cadre pour comprendre plus finement l'opération par laquelle Goodman pose son problème, en ajoutant une hypothèse « vleuïfiée » à une hypothèse initiale – et nous serons en mesure de poser les conditions de possibilité ou d'impossibilité de cette opération de « vleuïfication » (section 2.3.). Nous pourrons alors comprendre enfin pourquoi le problème de Goodman se pose ou ne se pose pas.

2.1.Discussions récentes concernant le problème lui-même.

Dans la section 1.2.1., nous avons présenté le problème de Goodman et les différentes solutions qui lui ont été apportées dans la littérature, en commençant par la solution propre de Goodman. Toutes cherchent un critère pour distinguer les généralisations nomologiques, légitimement confirmées leurs instances, comme la généralisation « Toutes les émeraudes sont vertes », des généralisations accidentelles, comme « Toutes les émeraudes sont vleues ». Mais une littérature plus récente a interrogé le problème lui-même, sa signification et la nature de ses présuppositions. Nous abordons maintenant l'étude de Hacking sur les présuppositions nominalistes de l'énigme de Goodman, avant d'examiner un échange récent d'arguments entre Israël et Kowalenko à propos de la signification du prédicat « vleu » et de sa projection aux émeraudes non-observées.

2.1.1. Hacking : « l'énigme de Goodman est pré-humienne ».

(Hacking, 1993) estime que « l'énigme de Goodman est pré-humienne ». Selon lui, elle aurait très bien pu être formulée dans le cadre nominaliste de l'empirisme anglais de la fin du XVIIème siècle, et donc avant Hume et la problématisation philosophique de l'induction. Dans un cadre nominaliste, il n'existe que des individus, localisés dans l'espace et le temps ; on ne reconnaît d'existence ni aux espèces naturelles, ni aux universaux ou propriétés, etc. Par conséquent, il n'existe pas de fondement ontologique pour distinguer des classes naturelles de classes artificielles. Un problème classique est alors de rendre compte de la valeur et de la référence de certains termes généraux de notre langage, comme « or » ou « masse », qui semblent pourtant désigner des sortes de choses ou des propriétés, et non les individus qui tombent sous ces concepts, ce qu'exclut le nominaliste.

Mais un second problème pour le nominaliste concerne la formation même de ces termes généraux, étant donné qu'on n'observe qu'une partie des individus auxquels ils peuvent référer. Tous les individus qu'on a observés et rangés dans la catégorie 'émeraude' sont verts. De même, tous les individus observés et classés dans la catégorie 'saphir' sont bleus. A partir de ces cas observés, rien ne légitime plus la formation de ces termes généraux : 'émeraude', 'saphir', 'vert', 'bleu', plutôt que de ces autres : 'émir', 'sapheraude', 'vleu', 'blert', qui signifient respectivement : « être une émeraude si observée avant t, ou sinon être un saphir », « être un saphir si observé avant t, ou sinon être une émeraude », « être vert si observé avant t, ou sinon être bleu », « être bleu si observé avant t, ou sinon être vert ». Pourquoi les 'émirs', qui sont tous vleus, ou bien les 'sapheraudes', qui sont toutes blertes, ne seraient-ils pas d'aussi bonnes catégories que 'saphirs' ou 'émeraudes' ?

Selon Hacking, le problème de la projectibilité des prédicats concerne en général la formation des catégories dans un cadre nominaliste, et l'induction n'en est qu'un cas particulier. La question « Pourquoi le prédicat 'vert' est-il plus projectible que le prédicat 'vleu' ? » est un cas particulier d'un problème nominaliste général : « Pourquoi cette façon de regrouper des individus sous le même mot est-elle plus légitime que cette autre ? ». L'induction, dans ce cadre, est la projection d'une caractéristique (être vert, être vleu) d'un sous-ensemble O d'individus observés à un sous-ensemble NO d'individus non-observés, que l'on voudrait néanmoins regrouper dans une même classe C, sous un même nom.

Nous avons vu que Carnap propose de résoudre le problème de Goodman en distinguant entre les prédicats qualitatifs et les prédicats positionnels, critère que Goodman refuse, car cette distinction est relative au cadre linguistique de l'agent. Mais ce débat entre Carnap et Goodman ne concerne pas seulement la recevabilité de la solution proposée par l'un, refusée par l'autre. Hacking montre que la possibilité d'un cadre linguistique où 'vleu' et 'blert' sont les prédicats simples et qualitatifs est une conséquence du nominalisme de Goodman.

S'il n'y a en effet que des individus, alors rien ne délégitime la formation de prédicats artificiels qui intègrent des clauses positionnelles arbitraires. Dans un cadre nominaliste, tout prédicat, aussi

qualitatif et simple qu'il paraisse, peut être reformulé en un prédicat positionnel. Dans le prédicat 'vleu', c'est la différence positionnelle <observé avant t, non-observé avant t> qui permet la formation d'une catégorie arbitraire de couleur. Mais un prédicat peut comprendre autant de clauses positionnelles qu'il y a d'individus dans un domaine donné, il suffit de distinguer les individus par leurs positions spatiotemporelles – nous y reviendrons longuement dans la section 2.4.1. Il y a donc de bonnes raisons de penser que le prédicat 'vleu' ne représente que la possibilité nominaliste de regrouper des individus dans une classe arbitraire. Avec 'vleu', cette possibilité est simplement appliquée à des individus de couleurs différentes, séparés par la distinction entre « être observé » et « ne pas être observé ».

Toutefois, en désaccord avec cette interprétation, on peut comprendre autrement la généralisation « Toutes les émeraudes sont vleues ». Loin de ne proposer qu'un regroupement artificiel d'individus, elle peut sembler prédire un changement objectif de couleur dans toutes les émeraudes, à la date t. Certes, le problème de Goodman est de savoir, *avant t*, comment distinguer deux généralisations également supportées par les éléments empiriques, et non de se prononcer sur ce qu'on observera à l'instant t. Cependant, avant t, il faut bien s'entendre sur ce que *signifient* les prédicats projetés, et cette signification implique la couleur des émeraudes futures. Ces généralisations, puisqu'elles concernent aussi les émeraudes futures, sont aussi appelées par Goodman des « prédictions ». Or il faut bien fixer ce qu'on dit quand on prédit. Donc la question d'interprétation du prédicat 'vleu' concernant les émeraudes futures, relancée par un échange récent d'arguments entre Israël et Kowalenko, est cruciale pour comprendre le problème de Goodman. Alors, qu'affirme-t-on réellement dans cette généralisation 'Vleu', et que signifie le prédicat 'vleu' ?

2.1.2. Israël et Kowalenko : quelle est la signification de « vleu » ?

Selon Israël, la généralisation 'Vleu' signifie qu'il y a des émeraudes vertes, des émeraudes bleues, et que par accident on n'a observé et ne continuera d'observer que des vertes jusqu'à la date t, avant d'observer des bleues, « exactement comme si quelqu'un, qui étudiait une urne remplie de billes, tirait toutes les billes vertes avant de tirer les bleues » (Israël, 2004). En suivant l'usage, nous marquerons cette interprétation par le terme '*vleu1*'. Il refuse l'interprétation '*vleu2*', qui postule un changement de couleur, dans toute émeraude, à la date t, et cela pour deux raisons.

Premièrement, si la généralisation 'Vleu' impliquait que toutes les émeraudes changeassent de couleur simultanément, à la date t, sans mentionner aucune raison ni cause, la variation de couleur <vert, bleu> incluse dans le prédicat 'vleu' signifierait un changement accidentel de l'état chromatique des émeraudes. Or, selon Israël, comme nous n'avons aucune raison de postuler un tel accident, cette hypothèse injustifiée apparaîtrait beaucoup moins plausible que l'hypothèse 'Vert', et l'énigme de Goodman perdrait alors l'essentiel de sa charge problématique :

> La généralisation « Toutes les émeraudes sont vleues2 » requiert que la couleur de tous les objets d'une certaine sorte change d'un coup, sans mentionner aucune cause, ce qui affaiblit la nouvelle énigme de l'induction, dans la mesure où on pourra toujours objecter qu'on n'a aucune raison de poser une telle possibilité. (Israël, 2004, p. 337)

Il faut donc postuler, selon Israël, plutôt qu'une variation soudaine de la couleur de toute émeraude, un accident dans notre rencontre avec des émeraudes aux couleurs individuelles stables. Nous n'avions connaissance que des émeraudes vertes quand soudain, à la date t, des émeraudes bleues entrent dans le champ de notre expérience. (Kowalenko, 2012), contre Israël, avance un argument qui reprend la saveur de la réponse de Goodman à Carnap. On ne peut pas, dit-il, refuser l'hypothèse d'un changement de couleur au motif qu'elle serait injustifiée, puisque :

> Un agent cognitif (*a cognitive agent*) du point de vue duquel le concept vleu2 est simple n'y verrait aucune étrangeté ; pas plus qu'il n'exigerait une quelconque justification causale pour le changement de couleur à la date t, puisque pour lui il n'y a pas de changement de couleur, et « toutes les émeraudes sont vleues2 » est tout aussi peu accidentel ou tout aussi nomologique que « toutes les émeraudes sont vertes » l'est pour nous. (Kowalenko, 2012, p. 551)

Celui pour qui la généralisation 'Vleu2' est la généralisation naturelle n'a pas plus à la rendre plausible que nous, à qui c'est la généralisation 'Vert' qui semble nomologique. De son point de vue, prédire un changement chromatique dans toutes les émeraudes, c'est dire que les émeraudes, après comme avant t, sont toutes vleues.

Mais Israël refuse que « les prédicats 'vleu' et 'blert' dénotent des propriétés dont la présence stable [dans les émeraudes] requiert que leurs porteuses changent de couleur » (p. 337). C'est une remarque cruciale, à laquelle il ne suffit pas de répondre, comme Kowalenko, que pour un locuteur du cadre linguistique 'vleu', une émeraude qui est vleue avant t ne change pas de couleur, puisqu'elle est simplement et invariablement vleue. La remarque d'Israël signifie que la projection d'un prédicat ne présuppose ni la présence stable, ni une variation de couleur, dans *une* émeraude qui traverse l'instant t. La généralisation 'Vleu' regroupe artificiellement des individus verts et des individus bleus, séparés opportunément par la différence entre 'être observé' et 'ne pas être observé'. L'accidentel conçu par Israël ne tient pas à un changement imprévu de couleur en toute émeraude, mais au fait que nous ne rencontrons jamais que certaines émeraudes individuelles, et jamais toutes. L'ensemble des émeraudes individuelles rencontrées avant t, qui sont vertes, peut très bien être complété par des émeraudes individuelles bleues, de telle sorte que toutes les émeraudes, observées ou non, peuvent être dite « vleues ». Ne s'exprime ici rien d'autre que la part l'énigme que Goodman doit à son nominalisme, comme le montrait déjà Hacking. C'est pourquoi ici la distinction entre 'être observé avant t' ou 'n'être

pas observé avant t', et donc aussi entre 'être vert' et 'être bleu', ne passe jamais entre deux états d'une même émeraude, mais toujours entre deux émeraudes individuellement distinguées.

Deuxièmement, avance Israël, s'attendre à un changement objectif de couleur des émeraudes à la date t, c'est prêter à la généralisation 'Vleu' ('Vleu2' en l'occurrence) la capacité d'être confirmée (ou infirmée) par une instance (observée ou future). Si en effet on affirme par cette généralisation que toute émeraude qui existe à travers la date t change de couleur, il suffit d'attendre et d'observer ce qui se passe à la date t. Quoiqu'il arrive, l'hypothèse générale serait en relation de confirmation ou d'infirmation avec cette observation particulière, et donc serait nomologique. Pourtant, cette généralisation 'Vleu' passe pour accidentelle. Or, selon Israël :

> Personne – et certainement pas Nelson Goodman – ne croit qu'une hypothèse accidentelle est confirmée par ses instances, et donc personne ne croit vraiment que la généralisation *évidemment* accidentelle « Toutes les émeraudes sont vleues » est confirmée par ses instances. Croire que la nouvelle énigme de l'induction demande de tenir toutes les généralisations, accidentelles comme nomologiques, pour *confirmées* par leurs instances, c'est se tromper lourdement sur le sens du problème philosophique le plus important de notre temps. (Israël, 2004, p. 338)

Si l'on suit Israël, l'hypothèse 'Vleu' ne doit pas avoir la capacité d'être confirmée ou infirmée par ses instances (même à venir). En effet, si les deux hypothèses apparaissent comme nomologiques, alors le problème de Goodman ne peut plus être posé. Selon Kowalenko, au contraire, il est nécessaire pour le poser que l'hypothèse 'Vleu' puisse être, elle aussi, confirmée par ses instances :

> Contre Israël, il faut dire que la Nouvelle Énigme repose très fortement sur la thèse que « toute généralisation, accidentelle ou nomologique est confirmée par ses instances », puisque la confirmabilité par ses instances est une des prémisses de l'argument, essentielle pour qu'il y ait un paradoxe […]. Se méprendre sur ce point, c'est passer entièrement à côté de l'énigme » (Kowalenko, 2012, p. 551).

En effet, si on suivait Israël à la lettre, il n'y aurait plus même d'énigme de Goodman, puisqu'une seule généralisation nous semblerait véritablement confirmée par ses instances. Il semblerait donc que, en choisissant l'une ou bien l'autre de ces deux interprétations du prédicat, le problème de Goodman ne se pose pas aussi évidemment qu'il le semblait. Historiquement, on peut montrer que l'ambiguïté entre « être confirmé par ses instances », ce que les deux généralisations pourraient être, et « être véritablement confirmé par ses instances », ce que seule la généralisation nomologique peut être, est déjà présente chez Goodman (Schramm, 2014). Sans prétendre interpréter le texte de Goodman lui-même, nous relevons cette ambiguïté lorsqu'il écrit que « les énoncés que cette émeraude a est vleue, que cette émeraude b est vleue, et ainsi de suite, confirmeront chacun à leur tour l'hypothèse générale que toutes les émeraudes sont vleues », que les deux généralisations sont « *pareillement confirmées* par

les énoncés empiriques décrivant les mêmes observations », mais que « nous avons bien conscience de celle des deux prédictions incompatibles qui est *authentiquement confirmée* » (nous soulignons).

Par conséquent, cet échange entre Israël et Kowalenko révèle un problème dans la position de l'énigme elle-même, au cœur duquel se loge une question dont personne, à notre connaissance, n'a reconnu l'importance. Dans l'interprétation du prédicat 'vleu', ou de ce qu'on affirme vraiment par la généralisation 'Vleu', il s'agit de savoir si la différence entre 'être observé avant t' ou 'n'être pas observé avant t', et donc aussi entre 'être vert' et 'être bleu', peut passer entre deux états d'une même émeraude et donc de toute émeraude (Kowalenko), ou bien sépare nécessairement des émeraudes individuelles, numériquement distinctes (Israël). Goodman est resté affreusement vague sur le statut de cette différence postulée dans le prédicat 'vleu'. Or, une fois démêlée cette ambiguïté dans la signification du prédicat, on s'aperçoit que le problème de Goodman ne se pose pas aussi évidemment qu'il en avait l'air. Si on choisit l'interprétation 'Vleu2' avec Kowalenko, alors l'énigme est dissoute, dans la mesure où nous avons deux hypothèses également nomologiques, confirmables ou infirmables par des observations, et en attente de nouvelles expériences pour être empiriquement départagées. Comme l'écrit Jackson :

> Il ne semble n'y avoir aucune raison de considérer 'vleu' comme non-projectible, si on le définit de cette façon [vleu2]. Une émeraude est vleue exactement si elle est verte jusqu'à t et bleu ensuite, et si on observe que toutes les émeraudes examinées jusqu'ici ont cette propriété, alors, toutes choses égales par ailleurs, on supposerait probablement que toutes les émeraudes, observées et non-observées, ont cette propriété d'être vert jusqu'à un certain temps, et de virer au bleu ensuite : ou du moins, on tiendrait cette hypothèse pour étayée. (Jackson, 1975, p. 115)

Par conséquent, l'énigme ne semble pouvoir se poser qu'en choisissant l'interprétation d'Israël, derrière laquelle on trouve les présuppositions nominalistes étudiées par Hacking, tandis qu'elle ne se pose pas, ou bien est dissoute, dans l'interprétation de Kowalenko. Ce rapide passage en revue de la querelle d'interprétation de 'vleu' suggère donc que les conditions, que nous cherchons et sous lesquelles le problème de Goodman se pose ou ne se pose pas, sont ontologiques et ont à faire avec l'acceptation ou le rejet du nominalisme. Le prédicat 'vleu' permet d'engendrer, à partir d'une première généralisation prise d'abord naïvement pour seule légitime, des situations goodmaniennes où plusieurs hypothèses sont également confirmées par les observations, d'après le critère de Nicod. Dans la suite, nous appellerons « vleuïfication » ce passage d'une hypothèse primitive à une situation goodmanienne à plusieurs hypothèses. Or nous constatons maintenant que toute vleuïfication n'engendre pas forcément de situation problématique pour le critère de Nicod, contrairement à ce que pensait Goodman. Les discussions abordées suggèrent plutôt que la signification de la vleuïfication, et surtout sa portée problématique, dépendent de présuppositions ontologiques concernant les cas particuliers sur lesquels porte l'hypothèse inductive. La prochaine section est entièrement dédiée à l'examen précis de ce fait.

2.2. Un cadre commun pour penser l'induction et la vleuïfication.

Nous avons besoin de définir précisément l'opération de vleuïfication, pour comprendre sa teneur et ses conséquences épistémologiques. Cela nous permettra de comprendre ensuite à quelles conditions ou selon quelles présuppositions ontologiques la vleuïfication engendre une situation goodmanienne problématique (ou non). Mais pour cela, nous avons besoin de poser un cadre ontologiquement neutre pour penser l'induction et la vleuïfication des hypothèses. Ce cadre doit valoir indépendamment des présuppositions ontologiques concernant les cas particuliers qui servent de base à l'induction, et la nature de leur différence. Mais le but est aussi de réunir dans un cadre commun les deux formes d'induction très différentes dont il est question jusqu'ici, l'induction énumérative et l'interpolation. Ce cadre nous permet d'expliciter ce qu'elles ont en commun, et qui permet de les dénommer « inductions », mais aussi de comprendre les points précis où elles divergent. Nous ne serons pas étonnés de voir que la différence entre ces deux formes d'induction, l'énumérative et l'interpolative, recoupe en grande partie l'écart entre des présuppositions ontologiques distinctes (acceptation ou rejet du nominalisme). Dans cette section 2.2., nous commençons par définir les concepts principaux de ce cadre épistémologique commun, puis nous montrons en quoi consiste, dans ce cadre, l'opération de vleuïfication et ce qui la rend possible.

2.2.1. L'induction comme projection d'une caractéristique à travers des différences.

Posons que toute induction part d'un ensemble O de cas particuliers observés, que nous appelons la *base inductive*. Une induction consiste alors à compléter la base inductive par un certain ensemble NO des cas non-observés. Nous appelons l'ensemble O+NO des cas observés et non-observés la *classe d'induction*. La base inductive est comprise et incluse dans la classe d'induction, mais lors d'une induction, l'incertitude porte sur la partie NO de la classe d'induction. Une induction vise alors à confirmer une *hypothèse générale inductive* portant sur l'ensemble des éléments de la classe O+NO à partir de l'observation des seuls cas de O. Par exemple, une base inductive peut être constituée par l'ensemble des émeraudes vertes observées. La classe d'induction rassemble toutes les émeraudes comme l'ensemble des cas particuliers concernés. L'hypothèse « Toutes les émeraudes sont vertes » affirme que les émeraudes non-observées de NO sont vertes comme les émeraudes observées. Elle complète donc les émeraudes de la base inductive O par un certain ensemble NO dont elle dit qu'il est constitué d'émeraudes vertes.

Il n'est pas fréquent de comprendre ainsi l'induction comme l'acte de compléter un ensemble par un autre. Il est plus courant de la définir comme un certain type de raisonnement, partant de prémisses et arrivant à une conclusion non nécessaire, incertaine, ou justifiée par des raisons seulement

statistiques. Mais cette définition ne prend pas en compte le fait que les inductions (en tout cas, les inductions qui nous intéressent) sont des généralisations qui consistent bien à passer d'un nombre restreint de cas particuliers observés (ou d'énoncés particuliers qui les disent) à tous les cas (ou l'énoncé universel qui les dit). C'est le critère de Nicod qui permet de relier les deux définitions.

Il pose que l'énoncé qui porte sur tous les cas de la classe d'induction – i.e. l'hypothèse générale inductive – est *confirmé* par les cas particuliers de la base inductive. On peut alors présenter l'acte de compléter la base inductive O par un ensemble déterminé NO comme un raisonnement de généralisation. Soit H(O+NO) l'hypothèse inductive qui affirme quelque chose de tous les éléments de la classe d'induction, et H(O) la conjonction des énoncés portant sur les cas particuliers observés, par exemple « Toutes les émeraudes observées sont vertes ». Le raisonnement inductif consiste à prendre pour prémisses les énoncés H(O) et le fait que H(O+NO) implique H(O) comme ses cas particuliers observés, et en appliquant le critère de Nicod, à en conclure (inductivement) que H(O+NO) est confirmée. Par exemple, l'énoncé H(O+NO) « Toutes les émeraudes sont vertes » est confirmé par les énoncés H(O) qui décrivent les émeraudes observées vertes. Soit maintenant {H(O+NO)} l'ensemble hypothétique de toutes les émeraudes vertes, qui comprend les émeraudes vertes observées et les émeraudes non-observées qui sont supposées aussi vertes. Soit {H(O)} l'ensemble des émeraudes vertes observées. Tous les éléments de {H(O)} appartiennent à {H(O+NO)}. L'équivalent ensembliste du critère de Nicod dit alors : l'existence de l'ensemble des {H(O+NO)} est confirmée par l'existence des éléments de {H(O)} et leur appartenance à {H(O+NO)}. Autrement dit, tous les cas observés O de la classe d'induction appartiennent à l'ensemble {H(O+ NO)}, donc tous les cas de la classe O+NO appartiennent à {H(O+NO)}. Par exemple, toutes les émeraudes observées appartiennent à l'ensemble hypothétique des émeraudes vertes donc toutes les émeraudes appartiennent à cet ensemble. Cette traduction du raisonnement de généralisation inductive comme complétion d'un ensemble de cas observés par un ensemble hypothétique sera importante pour la suite.

Après avoir défini la base inductive et la classe d'induction, définissons la « différence inductive ». Appuyons-nous sur les travaux de Jackson et Pargetter, pour qui l'induction :

> … consiste essentiellement dans la projection de similarités à travers des différences. On fait l'hypothèse que des groupes d'objets dont on sait qu'ils sont similaires sous certains aspects le sont aussi sous d'autres aspects – par exemple, l'hypothèse que des objets similaires en étant tous des émeraudes sont aussi similaires en étant aussi tous verts. Mais les groupes sont aussi différents sous d'autres aspects – certains sont observés, d'autres ne le sont pas, par exemple. (Jackson & Pargetter, 1980, p. 428)

L'induction est la projection d'un prédicat à travers la *différence* entre les cas observés de O et les cas non-observés de NO. Ils rejoignent en ce point Goodman, qui définissait lui aussi l'induction comme « la projection d'une caractéristique d'un domaine d'objets dans un autre » (Goodman, 1946).

Évidemment, cela ne signifie pas, ni chez Goodman, ni chez Jackson et Pargetter, que cette même caractéristique ou « similarité » projetée soit une similarité objective. On sait depuis l'exemple de la généralisation 'Vleu' qu'il est possible de projeter une variation (de couleur en l'occurrence), à travers la différence inductive. Les émeraudes qui tombent d'un côté de la différence inductive sont dites vertes, les autres sont dites bleues. Néanmoins, on peut très bien comme Goodman inclure cette variation de couleur dans la définition même du prédicat projeté. Si on définit 'vleu' comme 'vert si observé avant t, bleu sinon', alors en projetant ce prédicat vers toutes les émeraudes, on projette bien une même caractéristique. Mais cette caractéristique commune à tous les faits « émeraudes étant vleues » implique bien une variation de couleur entre les émeraudes qui sont vertes et celles qui sont bleues.

Cette caractéristique est projetée vers des objets qui sont différents de ceux de la base inductive O. Jackson et Pargetter font, à raison, grand cas de cette différence, sans laquelle l'induction, n'allant pas du connu à l'inconnu, de l'observé à l'inobservé, ne serait pas une démarche ampliative :

> Les objets vers lesquels on projette doivent différer sous un certain aspect connu de ceux à partir desquels se fait la projection. Par exemple, l'induction standard serait vaine si elle n'inférait pas des émeraudes vertes *examinées* vers les émeraudes vertes *non-examinées*, puisqu'alors personne ne pourrait utiliser l'induction pour « aller au-delà » de l'échantillon. Il sera utile de nommer la paire de propriétés qui distingue l'échantillon des objets vers lesquels on projette. Nous l'appellerons la paire différentiante. (Jackson & Pargetter, 1980, p. 417)[127].

Nous appelons *différence inductive* cette différence entre les cas observés et les cas non-observés. Bien sûr, elle n'est pas toujours réduite à la différence <observé, non-observé>, puisqu'on peut induire en généralisant, par exemple, des émeraudes situées sur Terre à toutes les émeraudes du système solaire, ou bien encore des émeraudes qui existent jusqu'en 2020 à toutes les émeraudes futures. Mais il est nécessaire que la différence inductive comprenne et implique la différence <observé, non-observé> qui est la marque de l'induction. Cela signifie que pour toute paire d'objets ou de cas particuliers, s'ils sont séparés par la différence inductive alors l'un est observé et l'autre non. Toute induction est donc la projection d'une même caractéristique entre des cas particuliers vers d'autres cas particuliers, à travers la différence inductive.

2.2.2. Le coût de la pluralité des instances inductives.

Après avoir défini la base, la classe et la différence inductives, nous abordons les deux notions cruciales du cadre commun que nous voulons poser, les « propriétés d'induction » et les « variations

[127] L'expression que nous traduisons par « paire différentiante » est « differentiating pair ».

inductives ». Il faut les introduire pour rendre compte d'un double fait, qui est toujours tenu pour acquis lorsqu'on parle d'induction, mais qui est peu souvent interrogé.

En effet, le critère de Nicod permet de tenir pour confirmée une hypothèse qui porte sur un ensemble de faits particuliers, à partir seulement de l'observation d'une *partie* de ces faits. Si l'hypothèse porte sur l'ensemble des faits O+NO, le critère fonde sa confirmation sur la seule vérification des faits O. On considère en général que l'ensemble O des cas particuliers observés en contient plusieurs, et que la force de l'induction tient, en partie, au nombre de cas réunis. Nous ne nous demanderons pas ici combien de faits on doit avoir observés afin de tenir l'hypothèse pour confirmée, ni s'il existe un rapport entre des degrés de confirmation et le nombre d'observations. Ces questions relèvent de la logique inductive et des probabilités. En revanche, le critère de Nicod présuppose que l'hypothèse porte sur *plusieurs* faits O+NO (peut-être une infinité), et que l'ensemble des faits observés O en contient *plusieurs* (certainement un nombre fini). Mais pourquoi l'hypothèse inductive porte-t-elle sur *plusieurs* faits, c'est-à-dire que l'ensemble O+NO contient une pluralité de cas, et non pas un seul ? Et si l'ensemble O+NO contient une pluralité de cas, pourquoi l'ensemble O des faits observés, susceptibles selon le critère de Nicod de confirmer l'hypothèse, doit-il aussi en contenir plusieurs ? Ce double fait de pluralité semble aller de soi, et il ne s'agira pas même pour nous de le remettre en cause. Mais cette pluralité a un coût, qu'il s'agit d'expliciter.

En effet, demandons-nous comment les cas observés, qui servent de base à l'induction, sont considérés comme plusieurs ? Par exemple, nous avons observé jusqu'ici que le soleil s'est levé tous les matins et en inférons qu'en général, il se lève le matin. Tous les matins observés sont des états de choses distincts les uns des autres par leurs coordonnées spatiotemporelles, et de la même façon, les cas non-observés sont des matins numériquement distincts des matins observés. Nous posons une question simple, mais qui est à la source, selon nous, du problème de Goodman : pourquoi et comment *comptons-nous plusieurs* matins, dans la base inductive O ? Pourquoi, si ce qui nous intéresse est leur similarité, ne disons-nous pas plutôt : « nous avons observé que *le* matin *le* soleil se lève, et nous en inférons que cela est vrai même si nous ne l'observons pas » ? Revenons au cas des émeraudes. Pourquoi, si l'on s'intéresse à la verdeur de l'émeraude, ne considère-t-on pas qu'on a observé *un seul fait*, *la* verdeur de l'émeraude, et que ce fait est le cas que nous l'observions ou non ?

Plus précisément, ce n'est pas tant la question « pourquoi » qui nous intéresse ici. Les raisons pour lesquelles il faut *plusieurs* cas observés pour en inférer par induction une vérité générale portant sur *plusieurs* cas non-observés s'enracinent profondément dans notre situation épistémologique et la limitation de nos moyens de connaître. « La verdeur de l'émeraude » n'est peut-être tout simplement pas *un* fait pour nous, qui n'avons pas pour objet de vérification ou d'attestation empirique l'émeraude en tant que telle, mais une *diversité* d'émeraudes particulières. Dans cette situation, l'induction s'impose comme une généralisation à tous les cas à partir d'une série de *plusieurs* cas observés. Mais passons maintenant de la question « pourquoi » à la question « comment » : *comment* compte-t-on comme

plusieurs cas particuliers de O toutes les émeraudes individuelles examinées, et non un cas unique qui serait « la verdeur observée de l'émeraude » ? Et pour le faire, quel prix doit-on payer ?

C'est tout simplement qu'en rassemblant les divers cas observés par la caractéristique où ils sont similaires, comme leur couleur verte, nous avons négligé des aspects qui nous ont semblé peu importants, comme la localisation géographique, la taille, etc., par lesquels pourtant ils diffèrent. Par exemple, toutes les émeraudes que nous avons observées sont vertes, et c'est du point de vue de cette caractéristique que nous les rassemblons dans O. Pourtant, elles se situent à des endroits différents, n'ont pas toutes la même taille, etc. En comptant ces différentes observations comme des cas particuliers *distincts* dans la base inductive O, nous *reconnaissons* ces différences tout en les *négligeant*, parce que seule nous intéresse la verdeur de ces émeraudes. Ce geste se retrouve dans tous les exemples classiques d'induction énumérative. Mais nous allons voir que ce geste a un coût très important.

Nous appelons désormais *propriété d'induction* une caractéristique par laquelle tous les cas observés se ressemblent, et qui est nécessaire pour les compter comme éléments de la base inductive ; par exemple, « être une émeraude » et « être de couleur verte » sont les propriétés d'induction dans l'exemple de Goodman. Si c'est la généralisation « toutes les émeraudes sont vleues » que l'on veut confirmer, alors nous réunissons les émeraudes observées dans O parce qu'elles se ressemblent sous cet aspect : « être vleu ». Les propriétés d'induction sont donc les caractéristiques que les cas particuliers doivent avoir, dans la description qu'on en fait, pour entrer dans la base inductive O.

Nous appelons ensuite *variations inductives* les différences entre les cas particuliers distincts dans l'ensemble O. Dans l'énumération de tous les cas d'émeraudes vertes, la localisation géographique, la taille de l'émeraude, etc., sont des aspects par lesquels les cas diffèrent et se distinguent numériquement. Sans ces différences, les cas observés ne pourraient pas être décrits et comptés distinctement dans la base inductive. C'est, en quelque sorte, le coût de la pluralité des instances observées : nous devons admettre qu'elles diffèrent par beaucoup d'aspects qui sont présupposés par leur distinction numérique, et les décrire ainsi. A cette condition seulement nous pouvons dire avoir observé *plusieurs* cas particuliers d'émeraude verte.

Il faut préciser que les aspects par lesquels les cas particuliers sont distincts doivent seulement être *suffisants* pour rendre compte de leur diversité *dans la description* de la base inductive. Cette règle ne vaut que pour établir cette description, et ne signifie évidemment pas qu'on doit prendre en compte *tous* les aspects objectifs par lesquels des particuliers diffèrent entre eux. Il y a peut-être d'innombrables aspects qui les distinguent, mais qu'on ignore et néglige totalement en ne les faisant pas même entrer dans les variations inductives, c'est-à-dire qu'ils ne font pas partie des aspects *décrits* de ces états de fait. Un objet physique n'est pas *entièrement* instance empirique pour une induction, mais on sélectionne ses aspects selon les besoins de la démarche : les aspects qui sont des propriétés d'induction, mais aussi les aspects par lesquels les objets diffèrent et se distinguent, pour être décrits comme plusieurs.

Par exemple, si on considère les émeraudes, on prend en compte leur verdeur qui est une propriété d'induction. Pour rendre compte de leur pluralité, on peut faire entrer dans les variations inductives seulement l'aspect temporel *t*, et négliger totalement la localisation géographique. Bien sûr, les émeraudes diffèrent objectivement aussi par cet aspect, mais il n'entre pas dans la description des diverses émeraudes. Les aspects qui entrent dans les variations inductives, comme la localisation temporelle, sont *suffisants* pour décrire une diversité d'émeraudes de façon distincte, et on n'aurait à prendre en compte d'autres aspects, comme la localisation géographique, que s'il nous fallait distinguer plus de cas dans la base inductive (et que ces aspects le permettaient).

Maintenant, dans cet exemple des émeraudes, comme dans beaucoup de cas d'induction classique, ces variations inductives sont négligées, dans la mesure où l'on tient ces aspects comme non pertinents pour la généralisation que l'on voudrait obtenir. Or nous avons maintenant les moyens techniques de définir précisément cet acte par lequel ces aspects et différences sont pris en compte, pour obtenir une pluralité de cas, mais en même temps négligés et considérés comme non pertinents. C'est le cas précisément lorsque les aspects qui sont dans les variations inductives *ne sont pas comptés dans les propriétés d'induction*. Dans un exemple comme celui des émeraudes vertes sont admises des variations inductives, tailles, localisations géographiques des émeraudes, qui ne sont pas des variations dans les propriétés d'induction (couleur). Seules comptent, dans les propriétés d'induction, les caractéristiques d'être une émeraude et d'être verte (ou vleue), pour que ces divers cas soient qualifiés dans la base inductive. Nous constatons donc que, dans un grand nombre d'exemples canoniques d'induction, il existe un écart entre les aspects des variations inductives et les propriétés d'induction : tous les aspects de ces variations *ne sont pas* des propriétés d'induction.

Or tout problème de l'induction, ancien ou nouveau, est en réalité un problème attaché à cette pluralité des cas qui se répètent dans l'expérience. Le problème de Hume venait directement du fait que cette pluralité, aussi grande soit-elle, ne prouvait absolument rien concernant les cas non-observés. En montrant l'absence de lien de nécessité entre les cas passés, aussi nombreux fussent-ils, et les cas futurs, Hume a dissous les charmes de la répétition dans l'expérience. Ce n'est pas parce qu'un phénomène se répète à l'identique dans le passé que cette régularité *doit* se prolonger à l'avenir. A son tour, le problème de Goodman déniaise lui aussi notre regard sur la pluralité des cas observés. Le prix à payer pour cette pluralité est d'admettre des aspects dans les variations inductives, que l'on pourrait pourtant tenir pour non pertinents. Nous allons maintenant montrer que c'est grâce, ou à cause, de cet écart entre les propriétés d'induction et les aspects comptant dans les variations inductives, que la vleuïfication est possible, et que les mêmes cas particuliers observés peuvent aussi bien confirmer plusieurs généralisations incompatibles.

2.2.3. La nature de la vleuïfication.

Selon nous, Goodman a découvert par son énigme qu'en admettant ainsi des aspects en variations inductives qui ne sont pas comptés dans les propriétés d'induction, on suppose en réalité que ces aspects et variations sont accidentels. En comptant des cas d'émeraudes vertes numériquement distincts, mais similaires du point de vue de leurs propriétés d'induction (leur verdeur) dans l'ensemble O, on suppose que tout ce qui par ailleurs les distingue, comme la taille, la localisation temporelle ou géographique, est négligeable et accidentel pour la généralisation qu'on veut mener. Par conséquent, on tient du même coup pour légitime la prédiction que les émeraudes non-observées ne diffèreront elles-aussi que par ces aspects négligeables. Autrement dit, on tient la généralisation « Toutes les émeraudes sont vertes » pour la seule nomologique, confirmable par les cas observés. Le choix de la généralisation capable d'être confirmée par ses instances a été fait dès la constitution des instances elles-mêmes, lorsqu'on a compté certains aspects dans les propriétés d'induction (« être une émeraude » et « être vert ») et rejeté certains autres dans les variations inductives.

Tout le problème posé par Goodman, comme l'écrivent Jackson et Pargetter, est « de sélectionner quelles similarités projeter à travers quelles différences ». Dans notre vocabulaire, Goodman montre tout simplement que rien ne fonde à traiter certains aspects des variations inductives comme des différences négligeables. Prenons la localisation temporelle. Pour obtenir une pluralité d'instances dans la base inductive, on considère que tous les cas d'émeraudes vertes observées sont localisés dans le temps, et possèdent donc une localisation temporelle déterminée. Ils diffèrent sous cet aspect, qu'on néglige pourtant en ne le tenant pas pour essentiel aux instances de la base inductive, c'est-à-dire en ne le comptant pas comme propriété d'induction. Mais ce faisant, on présuppose que la caractéristique projectible n'inclut aucune détermination temporelle, et que la généralisation nomologique ne distinguait pas les cas selon cette localisation. C'est précisément ce que remet en cause la construction du prédicat 'vleu'.

Rien ne nous empêche en effet de *constituer* autrement la base inductive, en tenant cette caractéristique temporelle pour essentielle à la description des instances, c'est-à-dire en l'incluant dans les propriétés d'induction. Pour entrer dans la base inductive, c'est-à-dire pour compter comme instance particulière d'une généralisation, un état de choses devra alors non seulement être décrit comme « étant une émeraude » et « étant vert », mais aussi « étant observé à un certain temps t' ». Dans ce cas, on n'aura plus observé des cas similaires d'émeraudes vertes, mais des cas d'émeraudes vertes observées à des moments déterminés différents du temps. Ils pourront être tous similaires en ce que les moments t' seront tous antérieurs à une date t future. Mais par cette décision, nous ferons tomber la généralisation « Toutes les émeraudes sont vertes » de son piédestal nomologique, car de telles instances pourront confirmer tout aussi bien la généralisation « Toutes les émeraudes sont vertes si sont avant t, ou bleues sinon » que la généralisation « Toutes les émeraudes sont vertes, qu'elles soient avant t ou après ».

Ainsi, le problème de Goodman concerne essentiellement le choix que nous faisons, lors de la constitution de la base inductive, d'inclure certaines caractéristiques ou certains aspects dans les propriétés d'induction, ou de les rejeter dans les variations inductives accidentelles. (Schramm, 2014) en arrivait à une reformulation du problème de Goodman tout à fait compatible, et même très proche, de la nôtre. Il propose de l'inscrire non plus dans la logique de la confirmation, mais dans la théorie de la preuve empirique (*evidence*). Il distingue deux types de relation entre un état de choses empirique et une généralisation : une relation de soutien (*support relation*) et une relation de preuve empirique (*evidence relation*). Les observations avant la date t des émeraudes vertes *soutiennent* les deux généralisations concurrentes, la 'Vert' et la 'Vleu'. Mais pour tenir l'observation d'une émeraude verte pour une *preuve empirique* (*evidence*) de la généralisation 'Vleu', c'est-à-dire une instance susceptible de la confirmer, il faut décider que la propriété temporelle « être avant t » est importante et non négligeable. Le problème de Goodman concerne donc selon Schramm la théorie de la preuve, et interroge notre choix de ce qui est essentiel ou non à une instance empirique. Évidemment, comme le rappelle (Dorst, 2016), ce n'est qu'une façon de reformuler le problème de Goodman et non de le résoudre.

Ainsi, le problème de Goodman émerge à partir de la constitution d'une base inductive, qui doit contenir *plusieurs* cas particuliers que l'on peut considérer comme *instances* d'une généralisation. Or, si on veut plusieurs cas dans l'ensemble O, nous devons reconnaître des variations inductives dans des aspects des particuliers. Mais ces aspects peuvent en même temps n'être pas pertinents et ne pas faire partie des propriétés d'induction. C'est *ce choix* de traiter ces aspects comme accidentels, de les exclure plutôt que de les inclure dans les propriétés d'induction, qui revient à tenir les seules propriétés d'induction (être vertes) pour légitimement projectibles, et leur généralisation pour seule légitime. Et c'est ce choix que la vleuïfication permet de problématiser. Alors, la vleuïfication d'une généralisation qui semble d'abord naturelle, comme 'Vert', consiste à faire entrer dans les propriétés d'induction un de ces aspects jugés peu importants et rejetés d'abord dans les variations inductives. C'est ce qui se passe avec le prédicat 'vleu' qui incorpore une différence temporelle dans la caractéristique projetée.

Une fois l'opération de vleuïfication bien définie, expliquons son effet. Il faut éviter l'erreur qui voit dans la vleuïfication *l'ajout*, à une première hypothèse naïvement tenue pour nomologique, d'une seconde hypothèse qui est sa version vleuïfiée. La vleuïfication est plutôt le *remplacement* d'une seule hypothèse initiale H_i par au moins deux hypothèses vleuïfiées H_{v1} et H_{v2}. Par exemple, on part d'une hypothèse H_i : « Toutes les émeraudes sont vertes » et par vleuïfication, on inclut la localisation temporelle dans les propriétés d'induction. On forge ensuite le prédicat vleu, et l'une des deux hypothèses vleuïfiées est H_{v2} : « Toutes les émeraudes sont vleues ». Mais l'autre hypothèse H_{v1} est elle aussi une modification et vleuïfication de H_i. Soient le prédicat *Vert-2 : « x est vert-2 si et seulement si x est observé avant t et est vert, ou vert sinon ».* Il nous semble qu'alors H_{v1} doit être identifiée à la proposition : « Toutes les émeraudes sont vertes-2 ». Autrement dit, la vleuïfication transforme aussi

l'hypothèse initiale, ici en modifiant le prédicat de « vert » en « vert-2 », et en ce sens la vleuïfication remplace bien une hypothèse initiale par au moins deux nouvelles. Nous disons « au moins deux », parce que rien ne limite en principe l'ensemble des hypothèses vleuïfiées à n'être que deux, et nous verrons que la vleuïfication, dans le cas général, engendre tout un espace d'hypothèses différentes.

Mais il faut justifier l'introduction de ce prédicat vert-2 et la vleuïfication de H_i en l'hypothèse H_{v1} « Toutes les émeraudes sont vertes-2 ». En effet, on pourrait nous demander pourquoi ne pas simplement ajouter H_{v2} à H_i, et poser alors le problème de Goodman : comment distinguer l'hypothèse aberrante H_{v2} de l'hypothèse nomologique H_i ? Après tout, H_{v1} et H_i ne disent-elles pas la même chose à propos des émeraudes, à savoir que, peu importe leur localisation géographique, elles sont toutes vertes ? Or nous pouvons montrer qu'en procédant ainsi, on ne pourrait tout simplement pas poser le problème de Goodman. En effet, pour le poser, on doit être placé dans une situation goodmanienne où, comme nous le définissions à la section 1.2.4., au moins deux hypothèses inductives doivent être confirmées par *les mêmes* instances (selon le critère de Nicod). Nous disons que deux hypothèses sont *inductivement comparables* si, à une date d, elles ont exactement les mêmes instances empiriques. Pour poser le problème de Goodman, il faut au moins deux hypothèses inductivement comparables, car c'est à cette condition seule que l'application du critère de Nicod peut produire leur confirmation conjointe. Or, les instances de la généralisation 'Vleu' sont des états de choses « être une émeraude observée avant t et verte », alors que les instances de la généralisation 'Vert' sont « être une émeraude verte ». Donc les deux généralisations n'ont pas les mêmes instances observées, et ne sont pas inductivement comparables : le problème de Goodman ne peut alors pas être posé à propos de H_{v1} et H_i.

On rejoint ainsi entièrement le problème de la constitution de la base inductive et du choix des propriétés d'induction. Ce qui fait l'identité d'une instance dépend du prédicat projeté, ou de la caractéristique généralisée. Dans notre cadre linguistique, on fait face à « une émeraude verte ». Mais le locuteur d'une langue où « vleu » est un prédicat accepté fait face à « une émeraude vleue », c'est-à-dire à « une émeraude observée avant t et verte ». Autrement dit, celui qui fait face à « une émeraude vleue » et qui s'apprête à projeter ce prédicat inclut de façon essentielle le paramètre temporel dans la caractéristique généralisée à toutes les émeraudes. Sans ce paramètre, son observation ne serait pas un cas d'émeraude vleue : ce paramètre est donc une propriété d'induction. Dans notre cadre, le paramètre est exclu de la caractéristique généralisée à toutes les émeraudes, donc on ne fait pas face au même état de chose généralisable. Le choix des caractéristiques qu'on inclut dans les propriétés d'induction détermine la constitution de la base inductive.

C'est pour cela que la vleuïfication de l'hypothèse H_i entraîne donc une modification du prédicat de couleur « vert » lui-même, et dorénavant les états de choses que l'on rencontre, et dont l'observation pourrait confirmer que toutes les émeraudes sont vertes, ne sont pas des « émeraudes vertes » mais des « émeraudes vertes observées avant t », c'est-à-dire exactement les mêmes états de choses qui sont aussi instances observées de la généralisation 'Vleu'. Ces instances confirment alors également les hypothèses

H_{v1} et H_{v2}, et la vleuïfication de H_i est la constitution d'un espace d'hypothèses inductivement comparables (H_{v1},H_{v2}).

Maintenant que ce cadre général est posé, et que nous avons expliqué *comment* la vleuïfication est possible à partir d'une hypothèse inductive initiale, c'est-à-dire comment le problème de Goodman *peut* se poser, nous sommes en mesure de comprendre à quelles conditions il se pose effectivement ou bien ne se pose pas du tout.

2.3.Premier principe d'applicabilité du critère de Nicod : la vleuïfication intégrale.

Dans cette section, nous allons proposer deux principes qui fixent les conditions d'application légitime du critère de Nicod, pour tenir des hypothèses inductivement comparables pour confirmées par leurs instances empiriques. Le premier, que nous appelons « Principe de vleuïfication intégrale », énonce qu'il est impossible d'appliquer légitimement le critère de Nicod à une hypothèse encore vleuïfiable. Le second est le « Principe conditionnel de symétrie nomologique ». Il énonce que parmi un ensemble d'hypothèses intégralement vleuïfiées et inductivement comparables, si on peut appliquer légitimement le critère de Nicod à l'une de ces hypothèses, alors on peut l'appliquer légitimement à toutes ; par contraposition, il énonce que si l'un de ces hypothèses est considérée comme non nomologique, et qu'on ne peut pas lui appliquer le critère de Nicod, alors aucune de peut l'être. A mesure que nous exposons ces deux principes, nous montrons également ce qui les justifie : ils gouvernent les conditions de possibilité et d'effectivité du problème de Goodman. Le premier principe dérive de la condition sous laquelle une situation goodmanienne se déploie et le problème de Goodman *peut* se poser. Le second principe dérive des conditions sous lesquelles, dans une situation goodmanienne, ce problème se pose effectivement ou non.

2.3.1. La constitution d'un espace clos d'hypothèses inductives.

Selon le premier principe, on ne peut pas appliquer le critère de Nicod à une hypothèse inductive vleuïfiable ou bien, inversement, le critère de Nicod ne peut être légitimement appliqué qu'à des hypothèses « invleuïfiables » ou, comme nous le dirons aussi, « intégralement vleuïfiées ». Nous devons d'abord expliquer ce que cela signifie, avant de justifier proprement ce premier principe. Détaillons les deux opérations qui permettent la vleuïfication intégrale d'une hypothèse : l'opération de vleuïfication proprement dite, puis l'opération de réduction empirique.

2.3.1.1.La vleuïfication proprement dite ou internalisation des variations.

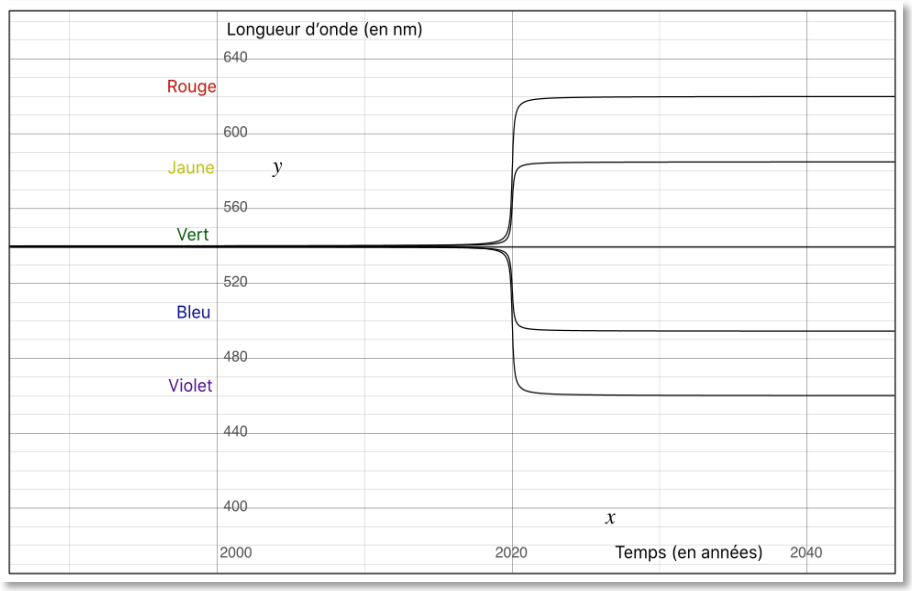
Une hypothèse inductive est encore vleuïfiable lorsqu'il existe un écart entre les aspects en variations inductives et les propriétés d'induction. La vleuïfication désigne le procédé, analysé dans la section 2.2.3., par lequel on fait entrer dans les propriétés d'induction un de ces aspects jugés peu importants et rejetés d'abord dans les variations inductives (comme le fait d'être observé avant t). Nous dirons alors qu'on internalise les variations inductives. Une « vleuïfication intégrale » est une vleuïfication où ce procédé est appliqué à *tous* ces aspects des variations inductives, de telle sorte que les différents cas particuliers, tels qu'ils sont décrits dans la base inductive, ne diffèrent plus entre eux *que* par des aspects qui sont des propriétés d'induction.

La vleuïfication intégrale désigne le procédé par lequel *tous* les aspects suffisants pour décrire distinctement la diversité des cas de la base inductive sont intégrés aux propriétés d'induction. Mais ces aspects continuent évidemment de rendre compte de la diversité et distinction de ces cas. Par conséquent, après vleuïfication intégrale, les divers cas de la base inductive ne diffèrent plus entre eux que par des aspects qui sont des propriétés d'induction. Autrement dit, les variations inductives ne sont plus que des variations *dans* les propriétés d'induction. Dans le cas des émeraudes, chaque cas particulier de O est maintenant doté d'une localisation temporelle, et cette caractéristique est essentielle pour le qualifier comme instance de la base inductive. Mais en même temps, c'est par leur localisation temporelle que les diverses émeraudes sont distinctes les unes des autres. La vleuïfication intégrale a donc pour effet que les variations inductives sont internalisées dans les propriétés d'induction. Nous verrons plus loin l'importance de cette conséquence.

La notion de vleuïfication intégrale nous permet de définir deux nouveaux concepts qui seront utiles pour la suite, ceux d'espace ouvert et d'espace clos d'hypothèses inductives. Nous appelons « espace d'hypothèses » un ensemble d'hypothèses qui sont inductivement comparables. C'est à partir d'un tel espace que, par application du critère de Nicod à ses éléments, on peut construire une situation goodmanienne où les différentes hypothèses inductives sont également confirmées par les cas de la base inductive. Nous appelons « espace ouvert » d'hypothèses inductives un espace où les hypothèses ne sont pas intégralement vleuïfiées. Le choix de l'adjectif « ouvert » s'explique simplement par le fait qu'un tel espace peut être augmenté par vleuïfication. Dans l'exemple de Goodman, l'espace composé par l'unique hypothèse initiale « Toutes les émeraudes sont vertes » est ouvert, puisque cette hypothèse est vleuïfiable. Il peut alors être remplacé par un espace plus large, par exemple celui contenant les deux hypothèses (H_{v1},H_{v2}), constitué par l'intégration de la localisation temporelle dans les propriétés d'induction. Maintenant, ce dernier espace peut à son tour être ouvert, si on compte comme deux des émeraudes qui ne diffèrent pas par leurs localisations temporelles, mais par exemple par leurs localisations spatiales seulement.

A l'inverse, nous parlerons d'un « espace clos d'hypothèses » inductivement comparables lorsque toutes ces hypothèses sont intégralement vleuïfiées, et que par conséquent, tous les aspects par lesquels les divers cas de la base inductive diffèrent sont intégrés dans les propriétés d'induction. La constitution d'un espace clos est, comme nous allons le montrer dans la suite, une étape essentielle à l'élaboration d'hypothèses inductives confirmables. Dans l'exemple de Goodman, et si la localisation temporelle suffit à rendre compte de la diversité et distinction des émeraudes observées, alors l'espace d'hypothèses à deux dimensions (couleur, localisation temporelle) est clos dans la mesure où il comprend l'ensemble des hypothèses possibles inductivement comparables.

Dans cet espace, les deux hypothèses 'Vert-2' et 'Vleu' ne sont évidemment pas les deux seules. Si on représente cet espace par le graphe 2, alors on s'aperçoit qu'on peut tracer une multiplicité de courbes correspondant à l'évolution de la couleur des émeraudes dans le temps. Les cinq courbes représentées se confondent en ce qu'elles associent la longueur d'onde de la couleur verte aux émeraudes jusqu'à l'approche de la date t (2020), puis divergent à cette date pour représenter des évolutions différentes. Les émeraudes peuvent rester vertes, ou bien virer au bleu ('vleu'), ou bien au violet, au jeune, au rouge, etc.[128] :



Graphique 2 (source Grapher).

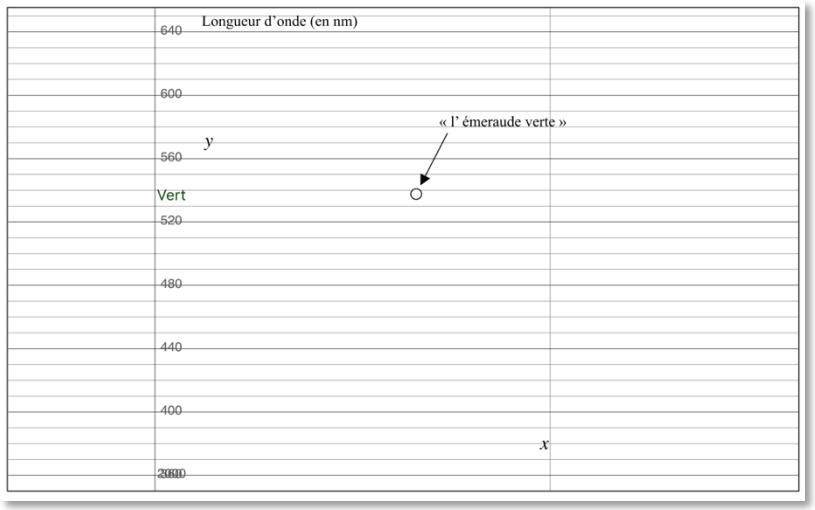
La vleuïfication est l'opération essentielle à la constitution d'un espace clos d'hypothèses. Il en existe cependant une seconde opération, la « réduction empirique », distincte de la vleuïfication, qui permet de constituer un espace clos, et qui peut être utilisée dans certaines situations adéquates.

[128] Pour tracer ces courbes, nous nous aidons de la formule imaginée par (Priest, 1976).

2.3.1.2.L'opération de réduction empirique.

Un espace clos ne contient que des hypothèses invleuïfiables. Une hypothèse inductive est vleuïfiable lorsqu'il existe un écart entre les aspects en variations inductives et les propriétés d'induction. Mais pour la rendre invleuïfiable, il n'est pas nécessaire de faire entrer les aspects des variations inductives dans les propriétés d'induction. On peut aussi bien ne plus tenir compte de certains aspects des variations inductives dans la description des instances, et donc renoncer à des sources de distinction numérique dans la base empirique. On perd alors en variété empirique, puisque le nombre de cas particuliers décrits dans la base et comptant comme des observations distinctes est réduit. Mais existe-t-il des situations où il est judicieux d'opérer une telle réduction empirique ?

De manière générale, comme l'opération aboutit à l'amenuisement de la base inductive, elle peut conduire à l'affaiblissement de l'induction. Dans l'exemple des émeraudes, imaginons que nous ne prenions plus en compte la localisation temporelle, qui était le seul aspect rendant compte des variations inductives. Dans ce cas, on perd tout moyen de décrire les diverses émeraudes comme distinctes, et on n'a plus le droit que de décrire un seul cas : « l'émeraude verte ». Si on devait représenter nos diverses observations sur un graphe, elles se confondraient et s'accumuleraient toutes sur un seul point, comme dans le graphe 3 :



Graphique 3 (source : Grapher).

On voit bien que cette hypothèse est invleuïfiable, et qu'on est rigoureusement incapable de formuler une hypothèse comme « l'émeraude est vleue » sans reconnaître de distinction temporelle entre les cas particuliers. S'il n'y a qu'un unique cas particulier dans la description de la base inductive, aucune vleuïfication n'est possible. Sur le graphe, cela est représenté par une base inductive de dimension nulle en abscisse, où « x » ne tient en réalité lieu d'aucune variable. Comme manière

d'aboutir à un espace clos d'hypothèse, la réduction empirique apparaît donc en général comme une opération bien malheureuse.

Pourtant il est des situations où la réduction empirique est utilisée. Nous venons de voir qu'elle signifie une restriction sur le nombre de dimensions de l'espace d'hypothèses. Or ce type de restriction arrive tout le temps, par exemple lorsqu'une expérience est reproduite à l'identique pour consolider la valeur et la fiabilité d'un même résultat, et non pour ajouter un nouveau résultat, numériquement distinct des précédents. Dans le cas des émeraudes, si leur diversité est décrite comme temporelle, on peut considérer que l'observation de deux émeraudes simultanément ne vaut que comme un seul cas dans la base inductive. Ou bien, si la diversité des émeraudes vient de leurs différences d'individualités, on peut considérer qu'observer deux fois la même émeraude ne compte que comme un seul cas dans cette base.

Mais prenons des exemples dans des situations scientifiques plus pertinentes. Imaginons que pour tester empiriquement une équation *E*, reliant les grandeurs F et G et jusqu'ici bien confirmée pour des valeurs connues de F et G, on crée en laboratoire des conditions rares pour observer des valeurs extrêmes de F ou G. F et G sont des grandeurs comme l'Énergie et la Masse. Si ces valeurs respectent *E*, cette équation en recevra une confirmation considérable. En termes graphiques, si C(*E*) est la courbe qui représente les paires de valeurs de F et G suivant l'équation *E*, l'équation sera confirmée si le résultat de l'expérience est un point qui sur le graphe appartient à C(*E*).

Or l'expérience est menée une première fois, et produit un résultat positif. Le point représentant l'observation dans l'espace FxG appartient bien à la courbe (ou dans une marge d'erreur raisonnable dont l'amplitude est fixée par la méthode métrologique). Mais avant de se réjouir et pour consolider le résultat, les scientifiques veulent reproduire l'expérience, dans les mêmes conditions, au même endroit, deux jours plus tard. La seconde occurrence de l'expérience produit un résultat exactement ressemblant, et donc un cas particulier de la loi *E* qui ne diffère du premier que par ses coordonnées temporelles.

Pour décrire ces deux observations comme des cas distincts dans la base empirique, il faudrait compter la localisation temporelle dans les variations inductives. Mais dans ce cas, l'équation *E* devient vleuïfiable, et dans un espace à trois dimensions FxGxTemps, on peut imaginer une équation *E'* qui se confond avec *E* jusqu'à une date t future, et diverge ensuite. La vleuïfication de E produit un nouvel espace d'hypothèses où la dimension temporelle T est incluse dans les propriétés d'induction, et donc dans les équations hypothétiques imaginables.

Or, on peut considérer que T n'est pas une grandeur physique pertinente pour comprendre le phénomène étudié, et n'entre pas dans l'équation qui le gouverne. Il ne faut donc pas inclure T dans les propriétés d'induction. Pour obtenir un espace clos d'hypothèses, la vleuïfication n'est pas, dans ce cas, une opération adéquate, et il faut préférer exclure tout bonnement la localisation temporelle des observations des aspects comptant pour les variations inductives. On préfère alors la réduction empirique à la vleuïfication. Dans ce cas, les deux résultats expérimentaux ne comptent plus que pour

un seul cas dans la constitution de la base empirique. C'est ce qui sera de fait choisi par les scientifiques, qui représenteront sur le graphe les deux résultats expérimentaux par un point unique dans l'espace FxG.

2.3.2. Le principe de vleuïfication intégrale.

Ainsi, il y a deux opérations disponibles pour construire un espace clos d'hypothèses. Ces deux opérations peuvent être résumées par une seule règle : une caractéristique des objets observés ne peut entrer dans les aspects des variations inductives que si elle est incluse aussi dans les propriétés d'induction. Mais elles ont néanmoins des significations épistémologiques très différentes.

Par la vleuïfication, on inclut un aspect des variations inductives dans les propriétés d'induction, pour conserver une dimension de diversité parmi les cas particuliers de la base O. Par la réduction empirique, on exclut un aspect des variations inductives de la représentation, ce qui produit nécessairement une diminution numérique de la base inductive. La première opération revient à considérer que la caractéristique incluse a une pertinence théorique pour l'explication du phénomène étudié, et qu'il faut donc la prendre en compte dans les énoncés nomologiques hypothétiques. La seconde opération signifie au contraire que la caractéristique exclue n'est pas pertinente et peut être ignorée, car elle ne joue aucun rôle dans la compréhension du phénomène en question. Exclure cette caractéristique revient à postuler que le phénomène en est nomiquement indépendant.

(Jackson & Pargetter, 1980) ont particulièrement insisté sur cette connexion entre le problème de Goodman et les hypothèses concernant les dépendances ou indépendances nomiques entre les caractéristiques des objets physiques. Tenir l'hypothèse « Toutes les émeraudes sont vertes » pour nomologique et « Toutes les émeraudes sont vleues » pour accidentelle revient à postuler l'indépendance nomique entre la couleur des émeraudes et le temps (ou le fait d'être observées).

Ce que nous montrons, c'est premièrement que ces postulats théoriques ne peuvent pas *justifier* le choix d'une hypothèse plutôt qu'une autre, et donc à résoudre le problème de Goodman comme semblent le proposer Jackson et Pargetter. La raison pour cela est toujours la même : justifier le choix de l'hypothèse 'Vert' comme seule nomologique au motif que la couleur des émeraudes est indépendante du temps (ou du fait d'être observées) rend cette hypothèse *inductivement incomparable* avec l'hypothèse 'Vleu', et par conséquent, le problème de Goodman ne peut même pas être posé.

Deuxièmement, nous montrons plutôt que ces postulats théoriques accompagnent ou correspondent à des choix dans la description de la base empirique et la constitution de l'espace d'hypothèses. Ils représentent la « charge en théorie » (*theory ladenness*) dans la description que l'on fait des instances de la base empirique, où la distinction numérique et donc le nombre des cas particuliers ne sont pas indépendants de la liste des caractéristiques que l'on est prêt à inclure dans les propriétés d'induction. Il y a un arbitrage entre les aspects que l'on est prêt à inclure dans les propriétés d'induction

et la variété et distinction des cas empiriques que l'on juge adéquates, et cet arbitrage correspond en partie à des options théoriques.

Nous pouvons maintenant justifier le principe de vleuïfication intégrale. Il énonce qu'on ne peut appliquer légitimement le critère de Nicod qu'à des hypothèses formant un espace clos, et qui par conséquent ne sont pas (ou plus) vleuïfiables. En revanche, toute hypothèse qui est encore vleuïfiable, c'est-à-dire dont les instances empiriques diffèrent dans des caractéristiques qui ne sont pas des propriétés d'induction, ne peut pas être légitimement confirmée par ces instances.

C'est un principe très fort, qui exclut par exemple que la généralisation initiale H_i « Toutes les émeraudes sont vertes » puisse être considérée comme nomologique selon le critère de Nicod. S'il est juste, alors c'est une bonne part du défi lancé par Goodman qui s'effondre. Goodman, en inventant le procédé de vleuïfication, lançait en même temps ce défi : trouver un critère plus fort que celui de Nicod, pour justifier de tenir malgré tout H_i pour nomologique (et la généralisation 'Vleu' pour accidentelle et aberrante). Mais nous savons maintenant que ce défi n'a pas de sens, une fois bien comprise la teneur de la vleuïfication. En forgeant le prédicat 'vleu', Goodman découvre en effet qu'on ne peut pas tenir pour accidentelles les localisations temporelles des émeraudes, qui rendent compte de leur distinction de cas empiriques, sans présupposer l'indépendance nomique entre leur couleur et leurs localisations temporelles. Or si on présuppose déjà cela, alors on ne peut même plus poser le problème de Goodman, puisqu'aucune situation goodmanienne ne se peut faire jour.

De façon plus générale, Goodman découvre qu'on ne peut pas tenir les caractéristiques qui rendent compte de la pluralité des instances de la base empirique (ce que nous avons appelé les variations inductives) pour négligeables et accidentelles, sans présupposer la forme de la régularité phénoménale. La notion de « forme » ici désigne seulement le fait que, comme dit Hume, le « futur ressemble au passé » ou bien au contraire varie par rapport au passé. Plus généralement, les particuliers non-observés de la classe d'induction sont-ils qualitativement identiques, du point des propriétés d'induction, aux particuliers de la base inductive, ou bien y a-t-il une variation dans les propriétés d'induction ? L'hypothèse 'Vert' affirme une régularité *uniforme*, où les émeraudes futures sont qualitativement identiques aux observées, et l'hypothèse 'Vleu' traduit une variation, un changement de couleur en fonction du temps (ou des émeraudes individuelles). Tenir les variations inductives pour accidentelles, c'est au fond tenir la première régularité, *uniforme*, pour la seule nomologique.

On peut dire la même chose d'une manière plus conforme à l'esprit de Goodman. On sait que Goodman a émis de nombreuses critiques à l'égard de la notion de similarité (*similarity*) et sa portée objective (Goodman, 1972). Pour lui, la projection du prédicat 'vleu' n'est qu'une façon qu'auraient les émeraudes futures de ressembler aux passées, qui n'est *a priori* pas moins légitime que la projection du prédicat 'vert'[129]. Les deux généralisations énoncent des ressemblances. Selon nous, il découvre par la

[129] Mais elle l'est *a posteriori* moins, c'est sa solution par l'ancrage des prédicats dans les pratiques inductives.

vleuïfication qu'on ne peut pas tenir les caractéristiques qui rendent compte de la *pluralité* des instances de la base empirique (ce que nous avons appelé les variations inductives) pour négligeables et accidentelles, sans justement présupposer qu'une ressemblance est plus légitime qu'une autre. Or tout le problème de Goodman n'est pas de le présupposer, mais de trouver un nouveau moyen de le prouver. C'est pourquoi on peut définitivement dire que toute hypothèse vleuïfiable ne peut pas être légitimement confirmée par ses instances empiriques, c'est le principe de vleuïfication intégrale.

Maintenant que nous avons expliqué et justifié le premier principe, passons au second, qui affirme la « symétrie nomologique » entre les hypothèses inductives au sein d'un espace clos. Ce principe conditionnel énonce que si on applique légitimement le critère de Nicod à l'une de ces hypothèses inductives au sein d'un espace clos, alors on peut l'appliquer légitimement à toutes ; par contraposition, il énonce que si l'une de ces hypothèses est considérée comme non-nomologique, et qu'on ne peut pas lui appliquer le critère de Nicod, alors aucune ne peut l'être. Nous allons, dans les deux prochaines sections, justifier ce principe à partir des conditions sous lesquelles le problème de Goodman se pose ou ne se pose pas.

2.4.Second principe : la symétrie nomologique au sein d'un espace clos.

Dans la section 2.1., nous avons vu que selon Hacking et Israël, le problème de Goodman demandait, pour se poser, d'accepter une présupposition nominaliste. Nous allons reprendre à notre compte cette conclusion, en montrant dans cette section que c'est le principe de symétrie nomologique (plus précisément, sa version contraposée) qui fait le lien entre le nominalisme de Goodman et la position de son problème. Pour cela, nous commencerons par montrer comment la présupposition nominaliste s'introduit dans le cadre commun de l'induction posé dans la section 2.2., pour engendrer une forme classique d'induction, l'induction énumérative (section 2.4.1.). Cela nous permettra de justifier la contraposée du principe de symétrie nomologique.

Ensuite, nous allons montrer comment, en refusant cette présupposition nominaliste, on retrouve la forme d'induction interpolative à partir du cadre commun d'induction (section 2.4.2.). Ensuite, nous montrons que pour rendre compte du fait que le problème de Goodman ne se pose pas dans le cas de l'interpolation, il faut présupposer exactement le principe de symétrie nomologique. Enfin, nous finirons par répondre aux deux questions posées, dans la section 1.1.3., à propos de l'induction variationnelle, qui est une forme particulière de confirmation mathématique (section 2.4.3.).

2.4.1. L'induction énumérative et ses présuppositions nominalistes.

L'induction énumérative consiste à énumérer des cas individuels dont l'observation a révélé une caractéristique commune, que l'on voudrait projeter vers d'autres individus, non-observés.

Intuitivement, cette caractéristique commune est censée représenter une propriété par laquelle les différents cas individuels se ressemblent objectivement ; et c'est à cette fausse évidence que s'attaque le problème de Goodman. Voyons maintenant comment on peut retrouver cette forme d'induction à partir du cadre commun, dans lequel on introduit la présupposition nominaliste.

Pour le nominaliste, il n'existe pas de classe indépendante, au-dessus des entités particulières et individuelles qui sont membres de cette classe. Par conséquent, un prédicat (ou une caractéristique) ne désigne rien de plus que l'extension des individus qui l'instancient. Par conséquent également, toute différence entre des caractéristiques est accompagnée par une différence numérique entre individus[130]. C'est cette conséquence qui joue le rôle de la présupposition nominaliste. En l'introduisant dans le cadre commun de l'induction, elle détermine ce qu'on peut entendre par « variations inductives ».

On se rappelle que les variations inductives sont les différences entre les cas particuliers de la base inductive, qui permet de les décrire comme étant plusieurs et non pas un seul. Or, lorsqu'un nominaliste admet des variations inductives, non seulement il reconnaît que les divers cas observés sont différents selon beaucoup d'aspects, mais surtout il doit considérer ces divers cas comme des *individus* distincts ou des états de choses individuellement distingués. Pour le nominaliste, les éléments de la base inductive O, ainsi que de l'ensemble NO qui la prolonge dans une généralisation, sont toujours des individus, car il est contraint de tenir les variations inductives pour des variations interindividuelles[131].

Le présupposé nominaliste détermine également la signification de la différence inductive. On se souvient qu'elle désigne ce par quoi les cas observés et les cas non-observés diffèrent et son distingués, et qu'elle doit comprendre et impliquer la différence <être observé, n'être pas observé>. Le nominaliste peut alors choisir n'importe quelle différence inductive : <être observé avant la date t futur, ou non>, <être à l'intérieur de la ceinture de Kuiper, ou non>, cette différence lui apparaîtra toujours comme une différence entre individus. Par exemple, l'induction qui part des observations répétées du lever matinal du soleil constitue une base inductive dont les éléments sont les matins individuels, séparés par leurs coordonnées temporelles et spatiales. L'induction énumérative projette leur caractéristique commune (le lever du soleil) vers d'autres matins individuels (les matins futurs).

On s'aperçoit alors que, dans l'exemple des émeraudes de Goodman, l'interprétation d'Israël découle directement de cette présupposition nominaliste. La différence inductive <être observé avant t, ou non> passe entre deux classes d'émeraudes individuelles, tout comme la différence de couleur <vert, bleu>. Par conséquent, on considère qu'aucune émeraude individuelle ne peut changer de couleur, mais qu'en projetant les caractéristiques 'verte' ou 'vleue', on ne fait que généraliser à *d'autres individus* ce

---

[130] Voir (Goodman, 1978, p. 94-95) : « no difference without a difference of individuals [is] the nominalist's doctrine ». Pour des analyses du nominalisme de Goodman, voir les études réunies dans (Elgin, 1997), en particulier (Panaccio, 1997).

[131] Il importe peu, ici, de préciser ce qu'on désigne comme individus : des émeraudes individuelles, qui subsistent dans le temps, ou bien des tranches spatiotemporelles de celles-ci (des états de choses limités dans l'espace-temps), comme l'écrit Goodman (1978, p94). En effet, quelle que soit la façon de concevoir les individus du domaine d'induction, on a affaire à des individus différents de part et d'autre de la différence inductive.

qu'on a observé pour *certains individus*. C'est clairement l'interprétation d'Israël, qui refuse qu'une même émeraude puisse changer de couleur, puisque la différence de couleur implique la distinction entre deux émeraudes individuelles. Elle implique de compter comme deux individus l'état de choses « émeraude verte » et l'état de choses « émeraude bleue ». Un prédicat comme 'vleu' qui s'applique aux cas de O et, par projection, à ceux de NO, s'appliquent ainsi à des individus différents. Dans le cadre déterminé de l'induction énumérative, une généralisation inductive consiste donc toujours dans la projection d'une caractéristique observée chez *certains individus* vers *d'autres individus* non-observés.

On peut alors retrouver les résultats de Hacking. L'induction énumérative est un cas particulier de classement (*sorting*), où on essaie de forger une catégorie correcte, dont l'extension est une classe d'individus *traversée par la différence qualitative observés/non-observés*. Il s'agit de compléter les individus observés par des individus non-observés, appartenant à la même classe d'induction. En supposant que la catégorie d'émeraude est correcte, la classe d'induction est l'ensemble des émeraudes. Toutes les émeraudes observées sont vertes. Mais doivent-elles être complétées par des émeraudes aussi vertes, ou bien par des émeraudes bleues ? Dit autrement, la classe d'induction est-elle l'extension de la catégorie « émeraude verte », ou bien de la catégorie « émeraudes vleues » ? L'énigme de Goodman est de parvenir à expliquer pourquoi le classement qui correspond à la généralisation « toutes les émeraudes sont vleues » est un mauvais classement.

Mais pourquoi est-ce qu'il y a ici un authentique problème ? Pourquoi ne pourrait-on pas tout simplement considérer que la projection de 'vleu' engendre un classement aberrant, et que la généralisation est la seule nomologique ? Autrement dit, pourquoi *ne peut-on pas* simultanément tenir la généralisation 'Vleu' pour accidentelle et aberrante, et la généralisation 'Vert' pour nomologique ? Nous avons besoin, pour le justifier, de faire ressortir ce que nous appelons le principe de symétrie nomologique, dans sa version contraposée : au sein d'un espace clos d'hypothèses inductives, si l'une apparaît comme accidentelle, alors aucune autre ne peut apparaître comme nomologique.

Pour le comprendre, nous devons d'abord expliquer à quoi ressemble la vleuïfication intégrale d'une généralisation dans le cadre de l'induction énumérative (nominaliste). Elle doit avoir pour effet de casser l'impression de plus grande nomologicité de la généralisation 'Vert' par rapport à la généralisation 'Vleu'. La vleuïfication consiste à faire entrer dans les propriétés d'induction un de ces aspects jugés peu importants et rejetés d'abord dans les variations inductives. Maintenant, les variations inductives sont des différences entre individus. Donc pour vleuïfier intégralement une généralisation énumérative, il faut forger un prédicat D, qui inclut autant de clauses positionnelles qu'il y a d'individus dans le domaine d'induction. Imaginons un ensemble de propriétés p_1, p_2, …, p_n, qui singularisent[132]

[132] Ce que nous appelons ici la singularisation d'un individu par une propriété ne désigne pas nécessairement une individuation *de re* – nous n'avons pas besoin ici de nous demander si les propriétés d'espace et de temps individuent réellement les individus concrets. La singularisation peut très bien n'être que celle d'un label ou d'une étiquette, c'est-à-dire une façon extérieure de désigner un individu et de le distinguer des autres.

les *n* émeraudes observées par leur coordonnées spatiotemporelles, et un ensemble complémentaire de propriétés p_{n+1}, p_{n+2}, …, p_m qui singularisent de la même manière les $m-n$ émeraudes non-observées. Ajoutons, par commodité, que dans l'ensemble des couleurs les émeraudes peuvent en posséder seulement deux : vert ou bleu. Soit alors le prédicat D défini ainsi :

> *D : « x est D si et seulement si x est p_1 et est vert, ou est p_2 et est vert, …, ou est p_n et est vert, ou est p_{n+1} et est c_{n+1}, ou est c_{n+2} et est p_{n+2}, …, ou est p_m et est c_m».*

Les couleurs c_i appartiennent à {vert,bleu}. Affirmer que toutes les émeraudes sont D, c'est attribuer individuellement une couleur à exactement chaque émeraude du domaine d'induction : c'est attribuer la couleur verte aux *n* premières émeraudes observées, et une couleur déterminée de {vert,bleu} à chaque émeraude non-observée. Ce prédicat D représente la formule de la vleuïfication intégrale de la généralisation 'Vert', et en son principe, l'induction énumérative déniaisée, libérée des charmes de la ressemblance qualitative entre individus pluriels. Il ouvre en effet l'induction énumérative à un espace clos de 2^m prédicats déterminés, dont les projections attribuent différemment les couleurs {vert,bleu} aux différentes émeraudes individuelles non-observées. Les prédicats « vleu » et « vert-2 » ne sont que deux prédicats parmi ces 2^m.

Nous pouvons maintenant conclure. Si l'on tient une des généralisations de D (par exemple, la 'Vleu') pour accidentelle, alors il faut tenir toute autre généralisation du même espace clos, et donc en particulier la généralisation 'Vert-2', pour tout aussi accidentelle, et donc tout aussi peu confirmée par les instances observées, pour que le problème de Goodman se pose correctement. En effet, si au sein de l'ensemble des prédicats D, on pouvait tenir certains pour projectibles et d'autres non, alors le problème de Goodman ne pourrait pas se poser. On peut donc déduire du *fait* que le problème de Goodman se pose dans cette configuration le *principe* épistémologique de symétrie nomologique : si une généralisation qui a les cas observés pour instances est tenue pour accidentelle, alors tout autre généralisation qui a les mêmes instances observées ne peut pas être plus nomologique.

2.4.2. L'interpolation et l'induction variationnelle.

Nous allons maintenant appliquer la même démarche au cas de l'interpolation, en montrant que c'est en vertu du même principe de symétrie que, dans son cas, le problème de Goodman ne se pose pas. Pour cela, nous commencerons par montrer comment l'interpolation, comme forme déterminée d'induction, est engendrée à partir du cadre commun de la section 1.2.2. par la négation de la présupposition nominaliste. Ensuite, nous montrons que pour rendre compte du fait que le problème de Goodman ne se pose pas dans le cas de l'interpolation, il faut présupposer exactement le principe de

symétrie nomologique. Enfin, nous répondrons aux deux questions posées, dans la section 1.1.3., à propos de l'induction variationnelle, qui est une forme particulière de confirmation mathématique.

Nier la présupposition nominaliste permet de considérer les variations inductives, ainsi que la différence inductive, autrement que comme des différences entre individus. Autrement dit, les différents cas, observés comme non-observés, ne sont pas forcément des individus. Empruntons un exemple à Jackson et Pargetter ; une scientifique observe des spectres de radiations émises par des atomes d'Hélium sur Terre, puis en infère, par induction, quels sont les spectres de radiation des atomes d'Hélium sur le Soleil (Jackson et Pargetter, 1980, p. 417). Analysons cette induction dans le cadre général que nous avons posé.

Les propriétés d'induction sont « être un atome d'Hélium » et toutes les propriétés caractéristiques d'un spectre de radiation, que nous regroupons sous le terme P. Imaginons que tous les cas observés sont similaires du point de vue de ces propriétés P. Sur Terre, tous les cas observés diffèrent certainement par le lieu de l'expérimentation, leurs conditions de température, de pression, etc. Ces différences sont les variations inductives qui rendent compte de la pluralité des cas entrant dans la base inductive. La différence inductive est la différence de localisation spatiale <être sur Terre, être sur le Soleil>. Pour l'agent qui fait cette induction sur Terre, cette différence comprend bien la différence <observé, non-observé>. Par l'induction qui projette la propriété P à travers cette différence inductive, est formée la généralisation « Tous les atomes d'Hélium sont P ». Pour autant, on n'exclut pas qu'un même atome d'Hélium, faisant le voyage de la Terre jusqu'au Soleil, traversant pour ainsi dire la différence inductive, vérifie la prédiction et confirme l'induction.

Plus près de nous, dans la littérature sur le problème de Goodman, il est arrivé que l'on définisse le prédicat 'vleu' ainsi : « une émeraude est vleue si et seulement si elle est verte et que t'< t, ou bleue sinon », en omettant ainsi de mentionner la condition « observée » ou « examinée ». Dans ce cas, la différence inductive porte uniquement sur le paramètre temporel t', et distingue les cas observés des inobservés selon qu'ils sont situés avant ou après la date t. Ainsi, par la généralisation « Toutes les émeraudes sont vleues » on affirme qu'à la date t, des émeraudes changeront de couleur, alors c'est un énoncé inductif général qui projette un prédicat ou une caractéristique à travers une différence qui n'est pas nécessairement interindividuelle, mais toujours une différence d'états déterminés, que peut traverser un même individu. C'est clairement l'interprétation 'vleu-2' que donnait tout à l'heure Kowalenko.

Notons que rien n'empêche de choisir la différence <observé, non-observé> elle-même pour différence inductive. Il suffit d'imaginer, avec Jackson et Pargetter, un monde où la couleur des émeraudes est affectée par le fait d'être examinée, et où par conséquent, la différence entre <être observé, ne pas être observé> elle-même est une différence d'états. « La structure moléculaire des émeraudes pourrait être telle que, bien qu'elles soient naturellement bleues, la lumière qu'implique le fait de les observer les teinte en vert » (Jackson et Pargetter, 1980, p. 419). La différence épistémique <être observé, être non-observé> est alors en même temps une différence entre deux états objectifs *de*

toute émeraude, qui sont reliés à deux états chromatiques distincts. Il ne s'agit plus d'une différence interindividuelle, mais d'une différence entre deux états qui peuvent être ceux d'une même émeraude.

La forme d'induction qu'est l'interpolation s'obtient alors par vleuïfication intégrale à partir de ce cadre non-nominaliste. La vleuïfication est la réduction à zéro de l'écart entre les aspects des variations inductives et les propriétés d'induction, de sorte que toutes les variations inductives sont des différences dans les propriétés d'induction. Pour simplifier l'exposition, limitons à deux le nombre de propriétés d'induction, de telle sorte que les différences entre les cas particuliers de la classe d'induction sont des différences dans ces deux propriétés. Grâce à la vleuïfication intégrale, on peut alors concevoir l'ensemble des cas observés comme des points dans un espace à deux dimensions, que l'on représente sur un graphe. L'espace clos des hypothèses, étant donné cette base de cas observés, est l'ensemble de toutes les courbes qui passent par ces points et qui prolongent ces points par-delà la différence inductive. De cette façon, les diverses courbes du graphe 2 représentent diverses hypothèses appartenant à l'espace clos défini pour l'interpolation de la couleur des émeraudes en fonction du temps[133].

Nous pouvons maintenant faire ressortir l'action du principe de symétrie, en montrant qu'il permet de rendre compte du fait que, comme nous le disons à la section 1.2.3., le problème de Goodman ne se pose pas dans le cas de l'interpolation. Or, pour que le problème ne se pose pas, il faut que, si l'on suppose que l'une des hypothèses inductives de l'espace clos est confirmable par les instances observées, alors on doive aussi supposer toutes les autres hypothèses de cet espace confirmables par les mêmes instances. Si ce n'était pas le cas, et que l'on pouvait tenir certaines hypothèses pour confirmables par ces instances et d'autre non, alors le problème de Goodman se poserait : comment faire la distinction entre ces hypothèses qui ont les mêmes instances empiriques, alors que manifestement le critère de Nicod n'y suffirait pas ? Par conséquent, pour que le problème de Goodman ne se pose pas, il faut que s'applique un principe conditionnel de symétrie : parmi un ensemble d'hypothèses intégralement vleuïfiées et inductivement comparables, si le critère de Nicod s'applique légitimement à l'une de ces hypothèses, alors il s'applique légitimement à toutes.

Le caractère conditionnel de ce principe est essentiel, parce qu'il ne suffit pas de tracer des prolongements de points dans un espace, ces points correspondant à des relevés ou observations, pour que ces prolongements soient nomologiques. La constitution d'un espace clos d'hypothèses n'est pas suffisante pour que ces hypothèses soient nomologiques. Il faut considérer que ces points représentent les instances nomologiques d'une hypothèse et donc la confirment, pour qu'ensuite le principe s'applique. Cette condition n'est pas nécessairement remplie. Imaginons par exemple qu'on essaie de deviner la suite d'une courbe d'évolution d'un marché de change. Si on voit la valeur dessiner en fonction du temps une sinusoïdale ascendante, et que la partie observée de la courbe a fait deux ou trois

[133] Ici, on suppose que les propriétés d'induction sont représentées par des grandeurs continues, mais la même définition de l'induction interpolative vaut avec des grandeurs discontinues ou discrètes.

paliers, on peut en anticiper un palier de plus et parier sur une hausse ponctuelle avant un tassement. On prolonge la courbe. Est-ce que pour autant, nos observations *confirment* l'anticipation ? Et si les valeurs commencent effectivement à monter, est-ce que cela confirme une hypothèse nomologique ? Non. La vérification d'une anticipation n'est pas la confirmation d'une loi, tout simplement parce que nous ne posions pas, dès le départ, que nos premières observations étaient les instances de cette loi. Nous ne pensions pas qu'une loi rigoureuse gouvernait les rapports entre les valeurs boursières et la durée de cotation. Nous avons simplement parié sur la répétition d'une forme sinusoïdale, sans bonne raison. Il faut donc, pour que le principe s'applique, que l'on considère les instances observées comme des cas particuliers d'une loi, susceptibles alors de confirmer les hypothèses que l'on fait à propos de cette loi.

2.4.3. Interpolation et induction variationnelle.

On peut enfin répondre aux questions que nous avons posées dans la section 1.1.3.1. à propos de l'induction variationnelle. Nous avons appelé « induction variationnelle » la confirmation progressive d'une hypothèse, la plupart du temps formulée mathématiquement, par l'observation de ses cas particuliers qui diffèrent quantitativement. Elle posait deux problèmes : comment le critère de Nicod s'applique à cette hypothèse alors que les cas observés ne sont pas qualitativement identiques, mais différents ? Et surtout, d'où vient sa force considérable, soulignée par Quine, quand on la compare à l'induction énumérative ?

La première question que nous posions était de savoir comment le critère de Nicod s'applique alors que les cas observés ne sont pas qualitativement identiques, mais différents. Les analyses de Goodman nous permettent maintenant d'y répondre : pour s'appliquer, le critère de Nicod n'implique pas que les instances d'une généralisation soient similaires au sens de qualitativement ressemblantes, mais simplement au sens où elles appartiennent à la même courbe, et donc sont des instances de la même hypothèse (Goodman, 1972). De la même façon, toutes les émeraudes observées se ressemblent au sens où elles appartiennent toutes à la classe hypothétique « Toutes les émeraudes vleues ». Nous avons tiré de Goodman la conclusion selon laquelle la similarité qualitative entre divers particulier n'est pas du tout une condition nécessaire pour qu'ils soient traités comme instances de la même généralisation, car on peut très bien admettre des variations dans les propriétés d'induction.

La seconde question posée par l'induction variationnelle est de savoir d'où vient sa force considérable, comparée à celle de l'induction énumérative. Selon nous, l'induction variationnelle tire sa force du fait qu'elle est une interpolation cachée : quand on confirme une hypothèse par variations, on en élimine (parfois implicitement) une infinité d'autres, dans un cadre qui est celui d'une interpolation.

En effet, l'interpolation désigne le procédé par lequel on cherche à savoir quelle hypothèse (représentée par une courbe) est la mieux confirmée par les données, parmi toutes les hypothèses d'un espace clos. Comme le problème de Goodman ne se pose pas dans le cas de l'interpolation, ces

hypothèses inductives sont également confirmables *ou infirmables* pour une base inductive donnée, c'est-à-dire pour une quantité donnée d'observations. Mais l'interpolation n'est pas un processus figé, et il évolue en fonction de l'accumulation des données. L'ajout d'une seule nouvelle observation, et donc d'un seul nouveau cas dans la base inductive, correspond à la sélection d'une seule de ces hypothèses et à l'élimination de très nombreuses autres. La force considérable de l'induction variationnelle a sa source dans le fait que l'ajout d'une quantité parfois minime d'observations nouvelles conduit à l'élimination d'une quantité souvent infinie (et dans le cas de grandeurs continues, indénombrable) d'autres hypothèses. A chaque étape, un nouvel espace clos d'hypothèses (en nombre souvent infini) se redessine, mais parmi elles, une seule hypothèse a survécu aux éliminations précédentes. Nous n'avons pas de doute que ce processus de confirmation progressive peut être mis en forme dans une théorie adéquate des probabilités, peut-être bayésienne (Urbach & Howson, 1993).

Ce qui nous a intéressé ici a été de faire ressortir la condition épistémologique de possibilité de ce processus de confirmation progressive : qu'à un moment donné de ce processus, l'ensemble des hypothèses de l'espace clos soient nomologiques, c'est-à-dire confirmables ou infirmables par leurs mêmes instances. Pour qu'une de ces hypothèses soit confirmée, avec une force considérable, par l'ajout d'une quantité minime d'observations nouvelles, il faut que toutes les autres hypothèses concurrentes aient été légitimement infirmés, donc *infirmables* par leurs instances, c'est-à-dire nomologiques. C'est donc en vertu du principe de symétrie nomologique que l'induction variationnelle a une telle force.

Dans l'ensemble de cette section 2., nous avons montré que deux principes étaient présupposés, comme conditions pour le problème de Goodman puisse se poser (premier principe de vleuïfication intégrale) et se pose effectivement ou non (second principe de symétrie nomologique). Dans la prochaine et dernière section de ce chapitre, nous allons continuer d'analyser le second de ces principes, pour en déduire de très fortes conséquences concernant l'ontologie des lois de la nature.

Avec ces deux principes, nous rejoignons enfin le fil de la discussion problématique laissé en suspens à la fin de la section 1.1. Nous y avons montré que le problème de la confirmation mathématique était de savoir en quel sens non-qualitatif des faits peuvent être « similaires » comme instances d'une équation *E*, pour être dits confirmer ensemble une même hypothèse inductive *E*, et en même temps, pour qu'ils puissent confirmer sans inconsistance les hypothèses incompatibles E', E'', etc. Or les réponses à ces questions sont en même temps exactement les conditions de validité du principe de symétrie nomologique, car ce dernier nécessite, pour être appliqué, que l'on considère divers cas observés comme instances d'une même loi (sens problématique de « similarité »), et que l'on accepte que ces cas confirment également des hypothèses inductives différentes. Nous allons maintenant montrer que deux thèses ontologiques (l'une portant sur l'ontologie des instances de loi, l'une sur la nature des lois) doivent être acceptées pour que le principe soit valide.

3. ***La déduction de l'ontologie des lois.***

Pour rejoindre enfin l'ontologie des lois, nous allons suivre la méthode qui est la nôtre dans ce chapitre, et que nous avons déjà appliquée pour tirer les conclusions ontologiques des conditions de possibilité de la prédiction mathématique. La question que nous devons alors poser est celle de savoir à quelles conditions ontologiques le principe de symétrie nomologique est bien valide. Il affirme que parmi les différentes hypothèses inductives d'un même espace clos (et donc après application du premier principe de vleuïfication intégrale), si l'une est considérée comme nomologique et confirmable par ses instances, alors toutes le sont. Nous allons montrer que ce principe a pour conditions de validité deux thèses ontologiques qui nous occupent à partir de maintenant, à savoir, premièrement, la proposition d'ontologie non-humienne des instances de loi, et deuxièmement, la thèse du régularisme mathématique selon laquelle une loi de la nature est une variation concomitante de plusieurs propriétés, susceptible d'être mathématiquement décrite.

3.1.Être une instance nomologique.

Le principe de symétrie nomologique énonce qu'au sein d'un espace clos d'hypothèses inductives, si l'une est confirmable par ses instances observées, alors toutes le sont. De ce principe, nous dérivons ici une première conséquence concernant ce que c'est que d'être une instance de loi, où nous reconnaitrons la proposition fondamentale de l'ontologie non-humienne des instances de loi. Nous commençons par en tirer une conséquence épistémologique, puis la conséquence ontologique voulue.

3.1.1. Goodman contre Hume.

Selon la vision humienne des instances d'une loi de la nature, ces instances existent et sont ce qu'elles sont indépendamment de l'existence de la loi dont elles sont les instances. Leur existence n'implique pas du tout (et est indifférente à) l'existence d'une régularité et d'une loi qui les rassemblent, et dont elles sont les instances. Elles ressemblent donc exactement à ce qu'elles seraient dans un monde où il n'y a pas cette loi. Pour Hume, cela vient du fait que nous avons empiriquement accès à ces particuliers, qui sont ou pourraient être instances de la loi, mais sans savoir si la loi existe, nous ne savons pas s'ils sont ou non instances de cette loi (*cf* chapitre VII, section 3.2.2.). Mais Goodman ajoute que nous ne savons pas non plus de quelle loi ce sont instances, s'il y a une loi. Par exemple, on ne sait pas si ces émeraudes qu'on trouve vertes sont les instances de la loi désignée par « Toutes les émeraudes sont vertes », ou bien de celle désignée par « Toutes sont vleues ». Or cela a une conséquence que Goodman n'a pas remarquée, et qui contredit l'ontologie humienne des instances de loi.

Partons de l'exemple d'une émeraude verte. Si, dans une situation goodmanienne, on ne sait pas de quelle généralisation elle est un cas particulier, alors on peut bien observer que *cette* émeraude est verte, mais on ne sait pas si elle est *une* « émeraude verte » ou bien *une* « émeraude vleue ». Cela paraît contre-intuitif, mais on ne sait pas si cette émeraude que l'on perçoit verte est à classer dans la catégorie des « émeraudes vertes » ou bien dans celle des « émeraudes vleues ». On ne sait pas ce qu'elle est comme cas particulier d'une régularité nomique, puisqu'on ne sait pas de quelle loi elle serait l'instance. De cette conséquence épistémologique, nous pouvons tirer maintenant une conséquence ontologique concernant l'ontologie des instances de loi en général.

En effet, *ce qu'est* cette émeraude comme instance de loi ne dépend alors pas seulement de ce qu'elle est comme particulier, mais aussi de ce que sont toutes les autres émeraudes instances de la même loi. Si la loi est que H_{v2} « Toutes les émeraudes sont vleues », alors cette émeraude verte qu'on perçoit est en réalité une émeraude vleue. Donc comme instance de la généralisation H_{v2} une émeraude n'est pas verte, mais vleue. Contre l'ontologie humienne, on s'aperçoit par conséquent que l'instance de la loi n'est pas exactement similaire à ce qu'est le particulier dans un monde où il n'y a pas de loi.

3.1.2. Instances nomologiques non-humiennes.

Développons cette conséquence ontologique dans le cas général, à partir du principe de symétrie nomologique. Il énonce qu'au sein d'un espace clos d'hypothèses inductives, si l'une est légitimement confirmable par ses instances observées, alors toutes le sont. Par commodité, nous parlerons d'instances nomologiques pour désigner des cas particuliers observés qui sont capables de confirmer une hypothèse (dont ils sont les instances). Pour un particulier, être une instance nomologique signifie que son observation confirme légitimement une hypothèse générale qui l'a pour conséquence observationnelle. Le principe de symétrie énonce alors que si les cas particuliers observés sont pris pour des instances nomologiques pour au moins une des hypothèses d'un espace clos, alors ils sont des instances nomologiques pour toutes les hypothèses de cet espace, et sont donc des instances nomologiques non pas relativement à telle ou telle hypothèse, mais à *toute* hypothèse acceptable dans cet espace.

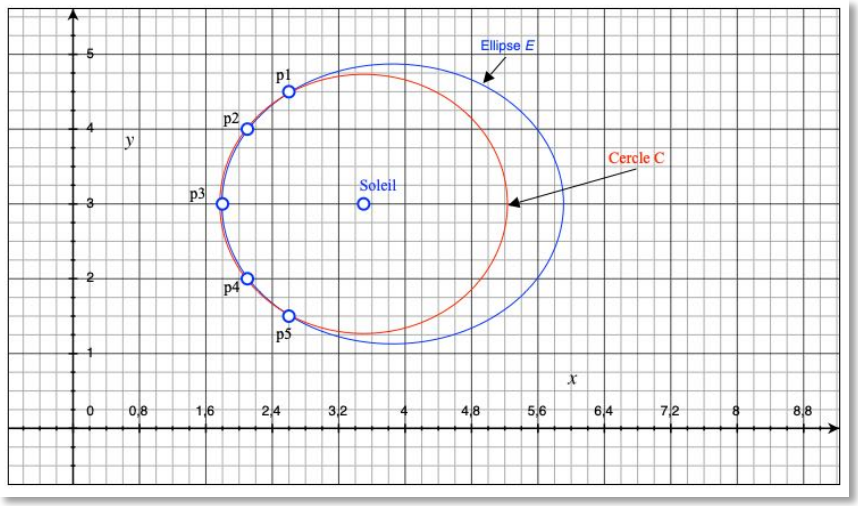
Nous nous plaçons alors dans une situation où un ensemble déterminé de cas observés entrent dans une base inductive et sont les instances positives d'un espace clos d'hypothèses. En outre, nous posons par hypothèse que le principe de symétrie est valide, et que par conséquence ces cas observés sont des instances nomologiques pour toutes ces hypothèses. Dans ce cas, comme nous ne savons pas de quelle loi, décrite par quelle hypothèse nomologique, ces cas sont les instances, nous ne savons pas *ce que sont* ces cas comme instances nomologiques – c'est la conséquence épistémologique dérivée au-dessus. Or, de cela découle directement que ce que sont ces cas comme instances nomologiques dépend de la loi dont ils sont effectivement les instances.

Soient H et H' deux hypothèses distinctes de cet espace clos. Les cas observés sont des instances nomologiques pour ces deux hypothèses. Mais ce qu'ils sont comme instances nomologiques si c'est H qui est vraie, est différent de ce qu'ils sont comme instances nomologiques si c'est H' qui est vraie. Donc ce qu'est tout cas particulier qui est instance nomologique pour toutes les hypothèses d'un espace clos dépend de quelle hypothèse est vraie, et donc de quelle loi est le cas. Cette émeraude observée est une émeraude verte-2 si H_{v1} est vraie, ou une émeraude vleue si H_{v2} est vraie.

La conséquence ontologique suit directement de cette relation de dépendance : si ce qu'est un particulier comme instance de la loi dépend de ce qu'est la loi, et comme on suppose que ce particulier *est* effectivement instance d'une loi, alors ce qu'il est implique l'existence d'une loi. Évidemment on ne sait pas laquelle, comme on ne sait pas ce que ce particulier *est* comme instance de cette loi. Mais comme le principe de symétrie implique qu'on suppose qu'il est instance d'une loi mais que ce qu'il est comme tel dépend de quelle loi est le cas, alors cela entraine que ce qu'est le particulier implique l'existence de la loi dont il est l'instance. Or c'est très exactement la conséquence ontologique non-humienne que nous reconnaissons : les particuliers, comme instances d'une loi possible (au sens d'une possibilité épistémique), ne sont pas indifférents à l'existence de la loi comme le pensait Hume, mais impliquent l'existence de la loi comme fondement de ce qu'ils sont. Plus précisément, une instance n'existe pas indépendamment de toutes les autres, mais implique la régularité nomique. Par exemple, si cette émeraude est une émeraude vleue, alors toutes les autres émeraudes au sein de la classe d'induction sont instances de la généralisation « Toutes les émeraudes sont vleues ». *Une* émeraude vleue implique que *toutes* les émeraudes sont vleues. On rejoint alors entièrement les thèses ontologiques défendues dans le chapitre VI, sections 3.2.2. et 4.2.3. Mais maintenant, ces thèses sont dérivées de faits épistémologiques plus solides que les arguments purement ontologiques.

3.1.3. Un exemple physique.

Il sera alors utile d'illustrer cette thèse non-humienne par un exemple scientifiquement plus pertinent que le cas des émeraudes. Il s'agit de la découverte par Kepler du fait que les planètes du système solaire suivaient des trajectoires ellipsoïdales et non circulaires. Nous reconstruisons ici une version simplifiée, et certainement fictive, du raisonnement qui a pu être le sien, comme un raisonnement d'interpolation. Soit la planète P qui tourne autour du soleil, selon une trajectoire inconnue. Les observations relèvent cinq de ses positions, p_1, p_2, p_3, p_4 et p_5. Comme on les représente sur le graphique 4, le cercle C et l'ellipse E sont deux hypothèses (parmi tant d'autres) au sein d'un espace clos d'hypothèses.



Graphique 4 (source : Grapher)

On définit alors deux prédicats : C(.) qui signifie « appartenir au cercle C » et E(.) pour « appartenir à l'ellipse E ». On s'aperçoit alors que pour toute position observée p_i, on a à la fois C(p_i) et E(p_i). Nous sommes alors dans une situation goodmanienne où les deux hypothèses H_C « les positions de P appartiennent tous au cercle C » et H_E « les positions de P appartiennent tous à l'ellipse E » sont également confirmées par les observations.

Expliquons ce que signifient nos thèses sur le caractère non-humien de ces instances. Prenons le cas de la position p_3, qui a pour coordonnées dans cet espace (1.8,3). Premièrement, pour pouvoir appliquer le principe de symétrie et considérer les deux hypothèses comme nomologiques, il faut considérer que ces positions particulières comme p_3 sont des instances nomologiques susceptibles de confirmer une hypothèse concernant la trajectoire de la planète. Autrement dit, comme instance d'une loi, le particulier n'est pas seulement le point p_3 réductible à la conjonction des coordonnées (1.8,3), mais le fait que ce point appartienne à une trajectoire inconnue. C'est en ce sens qu'on ne sait pas ce qu'est ce cas particulier comme instance de loi : on ne sait pas si l'instance représentée par p_3 consiste dans le point (1.8,3) appartenant à C ou bien le point (1.8,3) appartenant à E. Autrement dit, on ne sait pas si le fait observé est un cas de C : C(p_3), ou bien un cas de E : E(p_3). On observe une position dont les coordonnées sont bien connues, mais on ne sait pas quelle instance nomologique particulière on observe, puisqu'on ne sait de quelle loi (i.e. de quelle trajectoire) ces coordonnées sont un cas particulier.

On se trouve alors dans une situation non-humienne, où des instances nomologiques ne sont pas ce qu'elles sont indépendamment de la régularité nomique dont elles font partie, c'est-à-dire de la série totale des autres instances de la même loi. Et contre la thèse de l'indifférence humienne, on voit plutôt que l'existence d'une seule instance, par exemple E(p_3), implique l'existence de la loi qui rend vraie l'hypothèse H_E « les positions de P appartiennent tous à l'ellipse E ».

Maintenant que nous avons dérivé et illustré la première conséquence ontologique du principe de symétrie nomologique, passons à la seconde. Nous allons retrouver l'autre thèse ontologique

principale de l'ontologie des lois présentée dans le chapitre VI : la nature variationnelle des lois, qui consistent en des variations concomitantes de propriétés physiques.

3.2.Le régularisme mathématique des lois de la nature.

La seconde conséquence ontologique du principe de symétrie est en même temps celle qui permet le mieux de montrer l'intérêt du cadre commun de l'induction posé dans la section 2.2., de sa définition de la vleuïfication et de la notion d'espace clos d'hypothèses. De façon très générale et ontologiquement indéterminée, une loi de la nature peut être caractérisée comme une dépendance nomique entre deux propriétés – sans que ce qu'on entend ici par « propriété » et « dépendance nomique » ne soit déterminé. Or, nous montrons maintenant que la constitution d'un espace clos d'hypothèses où on suppose le principe de symétrie valide détermine la forme de la dépendance nomique entre propriétés comme une série de variations concomitantes entre déterminations de ces propriétés. Autrement dit, nous en tirons la proposition ontologique concernant la nature des lois que nous avons exposée au chapitre précédent sous le titre de « régularisme mathématique ».

3.2.1. Internalisation de la différence inductive.

Il faut commencer par une remarque qui est importante pour la démonstration présente, mais aussi très significative pour le fondement ontologique de l'induction en général. La vleuïfication intégrale posée par le premier principe impose que tous les aspects responsables des variations inductives soient inclus dans les propriétés d'induction – c'est l'opération d'internaliser les variations inductives que nous avons appelée vleuïfication. Or en supposant valide l'application du principe de symétrie nomologique, on pose que les différents cas, observés comme non-observés, de la classe d'induction, sont des instances d'une loi de la nature, que décrit adéquatement l'une des hypothèses de l'espace clos. Par conséquent, et après vleuïfication intégrale, on suppose que les diverses instances de la même loi sont distinctes par des différences dans les propriétés d'induction.

Pour la démonstration présente, qui vise à déduire du cadre posé l'ontologie régulariste des lois, cette conséquence signifie que la classe des instances d'une loi constitue une variété non-humienne. C'est la première étape de la démonstration. Le caractère non-humien vient du caractère non-humien des instances qui la composent, et qui a été montré juste au-dessus, dans la section 3.1. Ce que nous montrons ici est que la classe de ces instances constitue une diversité qui n'est pas externe mais interne, c'est-à-dire une *variété*. On se rappelle que c'était un point essentiel de notre ontologie des lois, abordé dans les sections 4.2.2. et 4.2.3. du chapitre VII sur les lois de la nature. Dans ces sections, nous avons alors appelé « variété » une classe d'instances qui ne sont pas distinctes par des aspects extérieurs, différents des propriétés impliquées dans la loi, comme c'est souvent le cas des localisations spatio-

temporelles. Elles sont bien plutôt distinctes en étant différentes par les propriétés F et G reliées dans la loi. Quand F et/ou G sont elles-mêmes des propriétés spatio-temporelles, cela produit une variété spatio-temporelle. Or, maintenant, nous avons un moyen de *prouver* cette ontologie : elle est la première conséquence de la vleuïfication intégrale et du principe de symétrie nomologique.

Concernant l'induction, c'est-à-dire la démarche de confirmer par des données empiriques des hypothèses portant aussi sur des cas non-observés, cette conséquence a une signification cruciale. En effet, la différence inductive qui sépare les cas observés des non-observés est comprise dans les variations inductives. Pour toute paire de cas de la classe d'induction, s'ils sont séparés par la différence inductive, alors ils sont aussi distincts par une différence dans au moins un aspect des variations inductives. Par exemple, dans l'exemple de Hullett et Schwarz, tous les cas *observés* de pressions sont distincts de tous les cas *non-observés* de pression comme *des pressions distinctes*. Or, en internalisant les variations inductives, et puisque la différence inductive est comprise en elles, on internalise aussi la différence inductive. Autrement dit, la différence entre les cas observés et les cas non-observés est entièrement réductible à une différence dans les propriétés d'induction.

Ceci change la nature de l'induction. Comme nous l'avons déjà expliqué (*cf* chapitre VI, section 2.) l'induction n'a plus besoin, pour être fondée, que soit démontré un principe d'uniformité dans le temps des lois de la nature. Il n'y a plus aucun sens à craindre que, le temps passant, les cas non-observés (futurs) ne ressemblent plus aux cas observés (passés), puisque le temps n'est pas une propriété d'induction, et donc ne distingue pas les différents cas – sauf évidemment dans une variété temporelle, où il est une propriété d'induction. Dans une variété – que la variété soit spatio-temporelle ou non – la différence entre cas observés et non-observés est toujours une différence dans les propriétés d'induction. Or ces propriétés et leurs différentes variations concomitantes possibles, sont précisément l'objet des hypothèses dans un même espace clos (section 3.2.2. suivante). La différence inductive <observé, non-observé> n'est donc plus une source de danger et de crainte métaphysiques pour la confirmation inductive d'une hypothèse, mais le contenu sereinement envisagé des hypothèses physiques.

Maintenant, nous pouvons montrer que le cadre de la vleuïfication et de l'espace clos d'hypothèses implique que la loi, que ces diverses hypothèses essaient d'interpoler, est une variation concomitante des propriétés d'induction.

3.2.2. La distinction entre non-variation et variation nulle.

Pour le montrer, nous allons nous concentrer sur un point précis. Avec le procédé de vleuïfication, Goodman a découvert le lien qui existe entre le caractère nomologique de certains énoncés et le fait qu'ils décrivent des variations concomitantes entre propriétés. Ce lien est la porte d'entrée vers notre ontologie qui affirme la nature variationnelle des lois de la nature. Quel est ce lien ? Pour le dire de façon encore imprécise, il s'agit de comprendre qu'après vleuïfication et donc constitution d'un

espace clos d'hypothèses, *toutes* les hypothèses de cet espace décrivent (mathématiquement) des variations concomitantes.

Mais pour pouvoir en tirer une conséquence ontologique concernant la nature de la loi de la nature, il faut discuter précisément de ce « toutes ». En effet, que des hypothèses qui prolongent les observations par des variations décrivent des variations concomitantes ne fait pas problème. En ce sens, l'hypothèse 'Vleu' décrit bien la co-variation entre le temps et la couleur des émeraudes. Mais *toutes* les hypothèses inductives le font-elles ? Par exemple, l'hypothèse 'Vert' qui, à première vue, ne projette pas de changement de couleur des émeraudes en fonction du temps, décrit-elle une co-variation de leur couleur et du temps ? Nous ne pourrons tirer la conséquence ontologique de la nature variationnelle des lois de la nature que si toutes les hypothèses inductives au sein d'un espace clos décrivent des variations concomitantes entre propriétés d'induction. Or, pour cela, il faut montrer en particulier que même l'hypothèse qui décrit apparemment la non-variation d'une propriété par rapport à l'autre décrit pourtant bien des variations concomitantes. Autrement dit, nous devons montrer qu'il faut concevoir cette hypothèse comme décrivant non pas une *non-variation*, mais une *variation nulle*.

Pour le montrer, commençons par préciser le vocabulaire. Nous nous plaçons dans un espace clos d'hypothèses concernant les propriétés d'induction F et G. Tous les cas particuliers de la classe d'induction sont distincts car ils sont des déterminations différentes de F ou de G. Imaginons maintenant que l'ensemble de ces cas, observés comme non-observés, une fois représentés par des points dans l'espace FxG, esquissent une droite horizontale. Par exemple, avec F : le temps et G : la couleur des émeraudes, l'ensemble des cas particuliers de la classe d'induction (c'est-à-dire toutes les émeraudes aux instants t du temps) sont de la même couleur verte. Si la loi reliant la couleur au temps est représentée par la grandeur G fonction de la grandeur F, alors on a G = f(F) = constante (vert).

Maintenant, distinguons entre deux significations que peut revêtir cette constance : la non-variation ou la variation nulle. Nous parlons *de non-variation* de G par rapport à F lorsque la constance de G en fonction de F vient du fait que la propriété physique représentée par G est nomiquement indépendante de la propriété représentée par F. Autrement dit, il n'existe dans ce cas pas de loi reliant G à F. Par exemple, la couleur des émeraudes est indépendante du temps, mais dépend plutôt de la structure de ces cristaux et de ses interactions avec la lumière. Elle *ne* varie *pas* avec le temps.

Au contraire, nous parlons de *variation nulle* entre de G par rapport à F lorsqu'on ne nie pas le rapport nomique entre les deux propriétés physiques, et que les déterminations de G ont bien un rapport de dépendance avec les déterminations de F. En ce sens, l'ensemble des points qui représente la loi sur le graphe décrit bien une évolution de G en fonction de F, qui est seulement une variation nulle. Alors que dans le cas de non-variation, G *ne varie pas* en fonction de F, ici G varie bien en fonction de F, mais de façon nulle. La variation nulle est très bien caractérisable mathématiquement grâce au concept de fonction dérivée : une variation nulle de y = f(x) correspond à la nullité de la dérivée en x de f. Une variation nulle n'est donc pas la négation mais le degré zéro du changement physique.

Or, nous pouvons maintenant montrer qu'au sein d'un espace clos d'hypothèses, et si le principe de symétrie nomologique est supposé valide, alors l'unique hypothèse qui décrit une constance de G par rapport à F n'affirme pas (a) une non-variation mais (b) une variation nulle (b). Autrement dit, au sein de toutes les hypothèses de l'espace clos, elle est simplement l'hypothèse d'une variation nulle de G en fonction de F. Par exemple, si l'hypothèse 'Vert' fait partie d'un espace clos d'hypothèses inductives, alors loin de nier la dépendance de la couleur des émeraudes par rapport au temps, elle affirme la constance de cette couleur en fonction du temps. Comment le montrons-nous ?

Ceci est la conséquence la plus riche et la plus intéressante des concepts de vleuïfication et de constitution d'un espace clos d'hypothèses. Appelons H_V les hypothèses d'un espace clos E qui décrivent explicitement des variations concomitantes de F et de G, et H_C l'hypothèse qui décrit G constant par rapport à F. On admet que les cas décrits dans la base inductive sont les instances d'une loi (sans quoi on ne peut pas appliquer le principe de symétrie). Supposons alors qu'on se situe dans le cas (a) où l'hypothèse H_C affirmerait l'indépendance nomologique de G par rapport à F. Dans ce cas, on doit aussi supposer aussi que F ne fait pas partie des propriétés d'induction, pour cette hypothèse. En effet, puisqu'on suppose que les cas sont instances d'une loi, et qu'on pense que cette loi ne concerne pas la propriété F, alors cette propriété n'est pas essentielle à ces cas pour être instances de la loi et entrer dans la base inductive. Donc F n'est pas une propriété d'induction.

Pourtant, dans la base inductive considérée, les différences en F sont les variations inductives, qui permettent la distinction et la diversification des cas. Donc en l'état l'hypothèse H_C est vleuïfiable, puisqu'elle a des instances qui se distinguent par un aspect, F, qui n'entre pas dans les propriétés d'induction. Il y a alors deux façons de formuler la conséquence : d'une part, on s'aperçoit que H_C n'a tout simplement pas les mêmes instances que les autres H_V ; d'autre part, que H_C ne fait pas partie de l'espace clos E, puisqu'elle est encore vleuïfiable. Dans les deux cas, H_C et les H_V ne sont pas inductivement comparables, ce qui est contraire à ce qui est présupposé.

On peut alors conclure. S'il est contradictoire avec les hypothèses du raisonnement que H_C et les H_V ne soient pas inductivement comparables, alors il ne convient pas de croire qu'on se situe dans le cas (a) où H_C décrit une non-variation nomologique entre G et F. Il faut bien plutôt se situer dans le cas (b) où elle décrit une variation nulle, c'est-à-dire une évolution de G en fonction de F.

On le montre aussi, d'une manière épistémologiquement plus intéressante, en se demandant : puisque H_C est encore vleuïfiable, d'après le premier principe de vleuïfication intégrale il faut la vleuïfier en annulant l'écart entre les propriétés d'induction et les aspects des variations inductives. Or il existe deux opérations élémentaires de vleuïfication : soit on exclut F des variations inductives, soit on l'inclut dans les propriétés d'induction. Si on choisit la première opération, la réduction empirique – qui est consistance avec la thèse de l'indépendance nomologique entre G et F, alors F est exclue des aspects des variations empiriques, et on perd le droit de distinguer nos diverses instances par des différences en F. Dans ce cas, on perd la pluralité des instances dans la base empirique, puisqu'on ne veut plus payer

son prix. Par exemple, si on considère que la couleur des émeraudes ne dépend pas du temps, alors on ne considère plus le temps comme un aspect de nos instances empiriques. Si c'était le seul aspect où elles se distinguaient, on perd le moyen de distinguer numériquement les émeraudes, et on n'a plus qu'un cas empirique à décrire : l'émeraude verte.

Si, en revanche, on maintient l'hypothèse physique que F est une propriété nomologiquement pertinente, il faut l'inclure dans les propriétés d'induction. Dans ce cas, on doit finir de vleuïfier H_C, pour la rendre inductivement comparable à toutes les autres H_V. On se situe alors dans le cas (b), où H_C décrit une certaine évolution de G en fonction de F : une variation nulle, comparable à toutes les autres H_V qui décrivent des variations non nulles. Dans l'exemple des émeraudes, cela revient à dire qu'il faut prendre l'hypothèse inductive « Toutes les émeraudes sont vertes-2 » et non « Toutes les émeraudes sont vertes » pour la comparer à l'hypothèses 'Vleu'.

3.2.3. La nature variationnelle des lois de la nature.

Nous venons de montrer qu'au sein d'un espace clos d'hypothèses, *toutes* les hypothèses décrivent des variations concomitantes entre les propriétés d'induction. Présentons alors le raisonnement complet, qui conclut à la proposition ontologique du régularisme mathématique. Si on suppose le principe de symétrie valide, et qu'on l'applique au sein d'un espace clos d'hypothèses, alors on pose que toutes les hypothèses de cet espace sont nomologiques. Or, comme toutes décrivent des variations concomitantes entre propriétés d'induction, il s'ensuit que s'il y a bien une loi de la nature pour les phénomènes étudiés (les instanciations des propriétés d'induction), alors cette loi a une forme variationnelle. Elle correspond donc à l'ontologie régulariste des lois proposées dans le chapitre VII, qui identifie une loi de la nature à une régularité composée des variations concomitantes entre propriétés. Une loi de la nature est identifiable à la série de ses instances (régularisme), qui forment une régularité de variations concomitantes (régularisme mathématique).

Bien que Goodman ne se soit pas intéressé à l'ontologie des lois, et qu'il pensait à partir de présuppositions nominalistes, ce résultat ontologique nous semble éminemment goodmanien. Nous avons en effet découvert grâce à lui le caractère problématique de la pluralité des instances d'une loi : il est possible de vleuïfier tout énoncé de loi qui projetterait une similarité qualitative simple à travers une diversité de cas numériquement distincts. Un tel énoncé refuserait de payer le prix de la diversité de ses instance. Vleuïfier, c'est payer ce prix, en incluant dans les propriétés d'induction les aspects par lesquelles les instances se distinguent.

La conclusion que veut en tirer Goodman, c'est qu'on ne peut pas se fonder sur la similarité pour distinguer les généralisations légitimes, puisque l'hypothèse 'Vleu' projette aussi une similarité, dénotée par un prédicat Goodmanien : toutes les émeraudes observées sont vleues. Ce que nous montrons, c'est pour ainsi dire le revers ontologique sa conclusion : si toute hypothèse au sein d'un

espace clos projette une similarité, au sens où elle attribue *le même* prédicat à tous les cas d'une classe d'induction (même les prédicats positionnels qui incluent des variations), alors en même temps toute hypothèse au sein d'un espace clos décrit une variation (même l'hypothèse H_C qui décrit une constance). Après Goodman, la ressemblance qualitative objective entre différents cas n'est plus, comme dans la compréhension classique de l'induction énumérative, la norme du nomologique, mais elle n'est plus qu'un cas limite et plutôt rare de variation nomologique, la variation nulle. De la même façon qu'après Galilée le repos, repensé sous le concept d'inertie, n'est plus le contraire du mouvement mais son degré zéro, après Goodman, la constance n'est plus le contraire mais le degré zéro du changement physique.

3.2.4. Réponse à Dretske.

La nature variationnelle des lois de la nature nous permet en même temps de répondre, enfin, à une question que nous avions laissée en suspens depuis le début du chapitre VII, dans la section 1.1.1.1. duquel nous avons exposé un argument épistémologique dû à Dretske, qui défendait l'analyse universaliste des lois, contre la position régulariste.

Selon Dretske, identifier la loi à une régularité empirique, composée de la série de ses instances, n'est pas satisfaisant, car cela implique d'identifier confirmation et vérification partielle de la loi. En effet, l'observation d'une partie de ses instances à la fois confirme la loi et en même temps la vérifie partiellement, puisque ces instances observées *sont* une portion de la loi. Or cette conséquence est inacceptable aux yeux de Dretske, pour qui un énoncé nomologique est *confirmable* mais n'est pas empiriquement *vérifiable* (même partiellement). Donc la loi ne doit pas s'identifier avec la régularité empirique. Nous avons alors expliqué que le régulariste pouvait très bien rejeter cette prémisse, et accorder que pour un énoncé nomologique, confirmable par ses instances empiriques, il se peut très bien qu'observer ces instances revienne à le vérifier partiellement. Le problème qu'il rencontre alors est de parvenir à distinguer la vérification partielle d'un énoncé nomologique authentique, qui équivaut à sa confirmation, de la vérification partielle d'une généralisation accidentelle, qui ne doit pas en être confirmée. C'est le problème classique de la distinction régularité nomique/généralisation accidentelle.

Nous avons maintenant les moyens de montrer qu'une ontologie régulariste des lois de la nature peut tout à fait être au fondement d'une théorie de la confirmation, contrairement à ce que qu'affirmaient les universalistes comme Dretske et Armstrong. En effet, les régularistes classiques *et* les universalistes, comme montré à la section 3.2.2.1. du chapitre VII, présupposent en commun la thèse de l'indifférence humienne et une ontologie humienne des instances de loi. Pour les uns comme pour les autres, les instances d'une loi sont exactement ressemblantes à ce qu'elles seraient dans un monde où cette loi n'existait pas : elles sont des faits humiens. Si le régularisme classique confond la confirmation et la vérification partielle, c'est qu'il identifie une loi avec une série de faits *humiens*. Et s'il ne le fait plus,

en adoptant une ontologie non-humienne des instances nomologiques, alors le problème de la distinction entre régularité nomique et généralisation accidentelle ne se pose plus (*cf* chapitre VII section 3.2.3.).

Mais de l'autre côté, Dretske fait manifestement la même présupposition dans son argument, lorsqu'il énonce que si on identifie la loi à la régularité de ses instances, alors sa confirmation par l'observation de ses instances équivaut à sa vérification partielle. Pour établir cette conséquence, il suppose en effet que l'observation d'une instance de loi permet d'identifier *quelle* instance nomique elle est, c'est-à-dire de quelle loi elle est l'instance – loi qui serait alors partiellement vérifiée. Mais nous avons montré que dans un contexte d'induction d'une loi mathématisée (induction variationnelle et interpolation), on observe des cas particuliers dont on suppose qu'ils sont les instances *d'une* loi, sans savoir de *quelle* loi. Et nous avons montré que ce fait épistémologique avait pour condition de possibilité notre ontologie non-humienne des instances de loi. Par conséquent, il nous semble tout à fait possible de *ne pas* identifier confirmation et vérification partielle d'un énoncé nomologique, tout en défendant une position régulariste, grâce à la thèse ontologique non-humienne de la nature variationnelle des lois, identifiées à des variations concomitantes entre propriétés physiques.

Conclusion

Au long de ce travail, nous avons proposé une conception (DVQ) de la nature des propriétés quantitatives, puis, fondée sur elle, une ontologie des lois de la nature. Nous avons soutenu la thèse qu'une propriété est une classe structurée de tropes. Ces tropes sont conçus comme des particuliers abstraits, qui ne sont distincts qu'en tant que déterminations différentes de la même propriété. Ils sont déterminés relationnellement, c'est-à-dire en instanciant un même faisceau de relations à *tous* les autres cas particuliers de la même propriété. Nous avons appelé variation quantitative cette manière qu'ont les déterminations quantitatives d'être les mêmes et différentes sous le même rapport.

Cette ontologie des propriétés et de leur instanciation a d'abord été développée dans le cadre général de l'ontologie des propriétés, comme solution à une reformulation du problème des universaux (chapitres I, II et III). Mais nous avons vu également que, interprétée de façon structuraliste, elle offrait un moyen adéquat de concevoir le quantitatif dans la nature (chapitre IV). C'est là-dessus que nous aimerions finir par insister, en soulignant trois résultats saillants de ce long travail.

En premier lieu, comme solution au problème *général* des propriétés, la théorie des déterminations et variations quantitatives se veut une manière adéquate de concevoir l'instanciation et la particularité. Elle inscrit donc le quantitatif au cœur de l'être : de ce que c'est, pour un particulier, que d'exister et d'être ce qu'il est. Cela permet d'aboutir à une conclusion radicale sur *ce qu'il y a* : il n'existe que des particuliers, qui sont instances des mêmes propriétés quantitatives, et rien d'autre. En particulier, nous nions l'existence des qualités (sinon au sens d'un réalisme interne), parce que leur mode de particularisation et d'instanciation est inconcevable. Les qualités impliquent (la possibilité) des particuliers qui seraient des instances *qualitativement identiques* (exactement ressemblantes) et distinctes *solo numero*. Or nous avons montré qu'il n'est pas possible d'avoir en même temps leur distinction numérique et leur communauté de nature. Nous aboutissons donc à une conclusion radicalement cartésienne : il n'y a que des quantités dans la nature. Nous offrons cette thèse comme une voie de sortie hors de l'antique querelle des universaux.

En deuxième lieu, nous avons affronté dans ce travail des positions (nominaliste, régulariste ou humienne), qui refusent d'admettre des entités générales dans la nature, comme vérifacteurs des énoncés qui portent les vérités scientifiques non-particulières. Ces positions nient l'existence des propriétés, et des lois qui les relient. Au contraire, nous avons essayé d'argumenter en faveur de leur existence, et de les concevoir comme des classes de tropes (reliées en variations concomitantes). Mais surtout, nous avons montré qu'il ne fallait pas les voir comme des entités uniques (universaux ou relations entre universaux), qui s'ajouteraient à ce que sont déjà les particuliers, « en plus et au-dessus d'eux » (*over and above*). Nous avons certes repoussé les positions nominalistes et humiennes, mais nous nous

sommes surtout méfiés des termes dans lesquels nos adversaires formulent les questions qui nous divisent. En effet, il nous a semblé que l'existence de ces entités *générales* se joue en réalité dès la conception de la *particularité* des particuliers. C'est pourquoi nous avons donné des raisons de repousser les critères de particularité des adversaires : les particuliers sont non-individuels (chapitres II et III), les déterminations particulières de quantités sont non-spatiotemporelles (chapitres IV, V et VI), et les instances particulières de lois sont non-humiennes (chapitres VII, VIII et IX). Sur chacun de ces trois fronts, nous espérons avoir montré que la bataille pour l'existence d'entités générales se joue au niveau de la conception de la particularité, et qu'elle peut être gagnée.

En troisième et dernier lieu, il ressort de ces trois négations (de l'individualité, du critère spatiotemporel de particularité, du particulier humien) un résultat positif. Nous soutenons une thèse (ontologique) sur la nature *relationnelle* de la particularité, et donc sur la nature *structurelle* des classes de particuliers. Un particulier existe distinctement, et est ce qu'il est, comme faisceau instancié de relations à d'autres particuliers, c'est-à-dire comme place d'une même structure qu'eux. Cette thèse ontologique, si elle a peut-être un intérêt intrinsèque, nous a surtout semblée cruciale pour fonder la possibilité de l'application objective ou légitime des mathématiques : dans le cas de la mesure d'abord (chapitres V et VI), et dans celui de la formulation mathématique des énoncés de lois, ensuite (chapitres VIII et IX). On s'aperçoit rétrospectivement qu'au cours de ces analyses transcendantales sont apparus des principes qui ont servi de *ponts* entre les exigences épistémologiques et leurs conditions ontologiques. Ces principes se sont présentés comme des *postulats nécessaires* pour que l'application des mathématiques soit objective ou légitime ; et nous avons montré à chaque fois quelles étaient leurs *conditions ontologiques de validité*.

Or tous ces principes étaient des *principes d'extension des relations*. A chaque fois, il s'agissait de postuler que des objets physiques, rencontrés dans l'expérience (comme des objets effectivement mesurés, comme des instances déjà observées d'une loi, comme des particules déjà découvertes d'une classe, etc.), étaient dans des relations dont il fallait *étendre l'extension* à *d'autres* objets encore non-observés. La signification structuraliste de ces principes est évidente : nous ne connaissons les entités physiques sur lesquelles portent nos théories que par l'intermédiaire des structures relationnelles dans lesquelles elles entrent. Ce n'est pas nouveau, et s'inscrit très bien dans le courant contemporain du réalisme structural ontique. Néanmoins, ce qui est nouveau tient en deux points : sur un plan ontologique, nous montrons à partir de *ces principes d'extension des relations* que les entités physiques qui entrent dans des structures *ne sont rien d'autre que* les places de ces structures – et nous proposons ainsi une ontologie originale des structures instanciées ; sur un plan épistémologique, nous y arrivons en suivant une démarche transcendantale, qui nous semble toujours pertinente en métaphysique. Le *faktum* de l'applicabilité des mathématiques nous sert de levier, pour dériver, aussi rigoureusement que possible, ses conditions ontologiques de possibilité : l'existence des quantités dans la nature.

Glossaire

(APP) Thèse de l'Actualité des Possibilités Physiques : toute détermination physiquement possible d'une grandeur naturelle M est actuelle ou bien n'est pas physiquement possible.

(DTA) Théorie des lois de Dretske, Tooley et Armstrong, qui identifient la référence des énoncés nomologiques non pas à des particuliers ou à une collection de particuliers, mais à des relations entre universaux.

(DVQ) Théorie des propriétés et des propriétés quantitatives, formée par les thèses (DQ) et (VQ). Selon cette conception, une propriété est une classe structurée de tropes. Ces tropes sont des particuliers abstraits, qui ne sont distincts qu'en tant que déterminations différentes de la même propriété. Ils sont déterminés relationnellement, c'est-à-dire en instanciant un même faisceau de relations à *tous* les autres cas particuliers de la même propriété.

(IRN) Thèse de l'Identité relationnelle-nomologique des propriétés (IRN) : le particulier x « est une instance de la propriété F » plutôt que de la propriété H si et seulement s'il compose avec y une instance d'une loi et que y est une instance de la propriété G : $\forall x,\ F(x)$ *si et seulement si* $\exists y$ *tel que* $I_L(x,y)$ *et* $G(y)$.

(NAR) Nominalisme Analytique de la Ressemblance. C'est une position nominaliste qui accepte de résoudre le problème des propriétés : quelque chose dans la réalité des individus fait qu'un même prédicat s'applique véridiquement à une pluralité de particuliers distincts, et il faut l'analyser ontologiquement grâce à la catégorie de ressemblance.

(PER) Principe d'Extension des Relations pour la mesure : « La relation $r_{mi,e}$ découverte par la mesure, et désignée par un nombre (« 3 »), a une signification objective seulement si elle fait partie d'une classe de faits relationnels équivalents : la relation $r_{mi,e}$ (entre m_i et l'étalon e) est équivalente à la relation entre tout < $r_{mi,mj}$ et $r_{e,mj}$> (où m_j est tout autre particulier de la classe des particuliers massifs, qui est un autre étalon possible). »

(PER) Principe d'Extension des Relations pour la prédiction : « Si les relations R reflètent (*mirror*) les relations réelles entre les éléments de C, alors si les éléments Γ', Γ'',… de la représentation M appartiennent à l'extension du même faisceau de relations R que l'élément Γ de M, et que l'élément Γ a un référent physique adéquat dans C, alors les éléments Γ', Γ'',… ont des référents physiques adéquats dans C. »

(PMI) Principe Matériel de l'Induction : « Tout particulier (d'une classe de régularité) est instance de la même loi de la nature que les autres particuliers de la même classe. »

(PN) Présupposition Nominaliste sur la distinction des particuliers : ils sont distincts numériquement parce qu'ils sont fondamentalement des individualités ontologiques différentes.

(PR) Principe de Réification (ou « d'Identification ») : « Soient Γ et Γ' des éléments d'un formalisme mathématique appliqué dans un certain contexte physique. Si Γ' est mathématiquement similaire à Γ, alors, si Γ a une signification physique, Γ' a aussi une signification physique. (Bangu, 2012, p. 101) »

(Q_1) : « Les particuliers a, b, c, etc., sont-ils instances de la même propriété F en vertu seulement de ce qu'ils sont ? »

(Q_2) : « Quel est le fondement ontologique de la distinction numérique des particuliers ? »

(QSE) Théorie des Quantités comme Structures Empiriques (associée à Ellis et Forge) : elle identifie la propriété mesurable m (la quantité m) à une structure Sm entre objets empiriques, dont l'ordre et les relations sont découvertes par nos opérations de mesure. Nous soutenons pour notre part une théorie QSE du fondement de la mesure, où les objets particuliers ne sont pas des individus nominalistes mais des tropes.

(Réalisme des propriétés) : thèse selon laquelle, pour les prédicats génériques, l'énoncé qui les affirme des particuliers est rendu vrai par la présence, dans ces particuliers, d'une propriété correspondante. Ce qui rend vrai l'énoncé « F(a) », qui prédique F du particulier *a*, c'est la possession par *a* d'une propriété dénotée par F, possession qui est le *vérifacteur* de l'énoncé.

(SMP) Théorie des Structures de Magnitudes-Propriétés, selon laquelle ce qui dans la réalité est objectivement représenté par les valeurs de nos échelles de mesure, ne sont pas des particuliers mais des propriétés. Les différentes magnitudes de la grandeur « Masse » sont des propriétés déterminées, instanciées dans la réalité empirique par des objets qui sont différemment massifs. Par conséquent, une échelle de mesure (pour la grandeur M) représente non pas la structure des particuliers massifs, mais des propriétés déterminées de masse.

(Thèse de de *la magnitude-étalon*) : toute magnitude qui est une détermination de la grandeur M, est un cas particulier de la propriété m qui peut servir d'étalon, c'est-à-dire peut servir de base à un SRM constructible. Cette thèse est la condition de la représentativité des échelles métriques.

(Thèse de *l'étalon-magnitude*) : tout cas particulier d'une propriété m mesurable, qui peut servir d'étalon pour la construction d'un SRM, est une magnitude de la grandeur M. Cette thèse est la condition de l'objectivité des mesures obtenues au sein d'un SRM construit.

(Thèse de l'indifférence humienne) : cette thèse affirme que les faits particuliers qui, si une loi existe, sont les cas particuliers de cette loi, sont qualitativement identiques avec les faits particuliers qui existeraient dans un monde où il n'y aurait pas cette loi. Nous parlons alors d'« indifférence

humienne » au sens où les faits particuliers seraient ce qu'ils sont qu'il existe ou non une loi correspondante.

(Thèse DQ) : Des cas (ou instances particulières) d'une même propriété générique sont distincts en vertu du fait qu'ils sont des déterminations différentes de cette propriété. Une détermination est, comme instance de la propriété F, sa manière particulière d'être F, et ce qui fait sa particularité.

(Thèse VQ) : la diversité entre particuliers est exclusivement interne. C'est définition ontologique de la différence quantitative : deux particuliers diffèrent quantitativement lorsqu'ils ne diffèrent qu'en tant que déterminations différentes de la même propriété.

Abstractivité : c'est la caractéristique des particuliers « abstraits » (voir tropes). Comme notion technique, elle désigne le fait que ce caractère abstrait des tropes leur permet d'être, en vertu seulement de ce qu'ils sont, membres de la même classe naturelle que d'autre, ou instances de la même propriété que d'autres, permettant ainsi de bloquer la régression réaliste.

Applicabilité nomologique des mathématiques (à la prédiction et à la confirmation) : elle désigne le fait que la formulation mathématique d'un énoncé est essentielle au fait que cet énoncé peut *légitimement* servir de prémisse pour le calcul de prédictions, et donc les fonder, ou bien peut être légitimement confirmé par l'observation de ses instances positives (ou infirmé par leur absence). Nous parlerons de « confirmabilité mathématique » pour tous les cas où le caractère nomologique d'un énoncé lui vient (en partie) de sa forme mathématique, c'est-à-dire où sa formulation dans un langage mathématique joue un rôle essentiel dans sa capacité à être confirmé par ses instances

Classe naturelle : une classe de particuliers est naturelle si l'appartenance de ces divers particuliers à la même classe est ontologiquement fondée sur *ce que sont* ces particuliers. L'enjeu du problème des propriétés génériques est de distinguer les classes naturelles des classes qui ne le sont pas.

Condition de généricité : « ce qui rend vrai l'énoncé « F(a) » dans a est identique à ce qui rend vrai les énoncés F(b), F(c), etc., qui attribuent le même prédicat générique à des particuliers distincts. » Avec la condition de particularité, elle forme le problème des propriétés génériques.

Condition de particularité : « ce qui rend vrai l'énoncé « F(a) », c'est-à-dire l'attribution du prédicat générique F au particulier a, c'est « quelque chose de a », c'est-à-dire quelque chose où le particulier a est impliqué, ou quelque chose qui concerne le particulier a. » Avec la condition de généricité, elle forme le problème des propriétés génériques.

Déterminations métriques : ce sont les valeurs qui sont les éléments d'un SRM, et donc les résultats possibles de mesure.

Distinctio solo numero : la « distinction seulement numérique » désigne une situation où divers particuliers sont qualitativement identiques mais numériquement distincts les uns des autres. Si

l'on parle de distinction *seulement* numérique dans le cas, par exemple, des émeraudes, c'est pour souligner qu'il n'y a entre elles aucune différence qualitative, et que leur différence *n'*est *que* numérique.

Diversité interne/externe : nous appelons « externe » une diversité de particuliers qui tient à des aspects tout autres que l'aspect par lequel ils sont instances d'une même propriété. Si nous avons divers particuliers qui sont F, leur diversité est externe lorsqu'elle consiste en des différences en des aspects tout autres que F. Nous parlerons de diversité « interne » lorsque l'aspect par lequel divers particuliers sont distincts est en même temps l'aspect par lequel ces particuliers sont cas d'une même propriété. Dit plus simplement, divers particuliers en situation de diversité interne sont distincts par le même aspect qui les réunit en classe d'instances d'une même propriété : c'est-à-dire en tant *qu'instances* de la même propriété.

Échelle de mesure : une échelle (*scale*) de mesure est la représentation mathématique d'une propriété physique. Elle est composée d'une structure numérique (par exemple, les réels positifs munis de l'addition) associée à un concept d'unité. Par exemple, c'est en ce sens qu'on dit que l'échelle de mesure de la masse est la structure des nombres réels positifs, munie de l'addition, et associée à un concept d'unité « kg ». Une échelle est une représentation abstraite qui ne peut pas être directement appliquée aux phénomènes physiques particuliers. Il faut pour l'appliquer la coordonner via la définition d'opération(s) concrète(s) de mesure, et souvent, le choix d'un étalon particulier : c'est-à-dire qu'il faut construire un SRM.

Espace représentationnel ER(m) de la propriété m : l'ensemble des SRM possibles pour une seule propriété m, définit ainsi : $ER(m) = \{SRM_{e,o}\}_{e \in E, o \in O}$.

Espaces d'hypothèses inductives : nous appelons « espace d'hypothèses » un ensemble d'hypothèses qui sont inductivement comparables. C'est à partir d'un tel espace que, par application du critère de Nicod à ses éléments, on peut construire une *situation goodmanienne* où les différentes hypothèses inductives sont également confirmées par les cas de la base inductive. Nous appelons « espace ouvert » d'hypothèses inductives un espace où les hypothèses ne sont pas intégralement vleuïfiées. A l'inverse, nous parlerons d'un « espace clos d'hypothèses » inductivement comparables lorsque toutes ces hypothèses sont intégralement vleuïfiées, et que par conséquent, tous les aspects par lesquels les divers cas de la base inductive diffèrent sont intégrés dans les propriétés d'induction.

Étalon de mesure : nous utilisons le terme « étalon » en un sens très large pour désigner un particulier qui entre dans le domaine de la propriété physique mesurable, et dont on se sert comme point de référence pour la définition des opérations de mesure. Par exemple, le « mètre-étalon » peut

désigner une barre de métal particulière, à laquelle il est fait référence dans la description de la règle de mesure des longueurs (en déplaçant cette barre le long d'un objet concret par exemple).

État de choses : un individu instanciant un universel. La rougeur de la balle, c'est cette balle instanciant l'universel du rouge, formant l'état de choses : « cette balle étant rouge ».

Être physiquement nécessaire : un état de fait particulier est « physiquement nécessaire » si et seulement s'il est physiquement réel, et n'est qu'une instance particulière d'une loi de la nature.

Être physiquement possible : est physiquement possible un particulier physiquement réel qui *peut* être *concrètement* réel, c'est-à-dire être compresent avec un particulier spatio-temporel sans contredire une loi de la nature.

Être physiquement réalisé ou actuel : est réel physiquement un particulier qui est une détermination d'une quantité physique. Nous avons distingué entre deux sens d'« être actuel » : être physiquement actuel, et être concrètement actuel. « Être *physiquement* actuel » correspond à ce que nous venons de définir, et renvoie donc à tout ce qui est le cas. « Être *concrètement* actuel » désigne un sous-ensemble de tout ce qui est physiquement actuel. Un particulier est *concrètement* actuel lorsqu'il est physiquement actuel *et* qu'il est compresent avec un trope d'espace-temps.

Faisceau instancié de relations : nous proposons de concevoir une place dans une structure instanciée comme un faisceau de relations instanciées, c'est-à-dire une réunion de tropes relationnelles, qui déterminent un particulier (une place particulière) par ses relations à tous les autres particuliers (places) d'une classe.

Grandeur/propriété mesurable/quantité : toute propriété générique dont les instanciations particulières sont toutes ses déterminations différentes, et qui respecte donc la théorie DVQ.

Individu au sens nominaliste général : un particulier concret.

Individu au sens numérique : un particulier qui demeure distinct des autres, même s'il n'a pas de qualités, ou s'il a exactement les mêmes qualités, et qui peut compter pour un dans le dénombrement des particuliers d'une même classe.

Individu au sens ontologique : un individu ontologique est *ce* particulier et aucun autre, et c'est cette *thisness* que l'on désigne par le concept ontologique d'individualité. Prendre les particuliers pour des individus revient donc à faire de l'« être identique à soi-même » le sens le plus fondamental d'être. Être *cet* étant F est quelque chose de plus déterminé qu'être simplement *un* étant F particulier. Car cela signifie avoir quelque chose qui fonde le fait d'être *cet* étant F : une *épaisseur* individuelle qui le distingue de tout autre étant F, et que nous appelons « individualité ».

Induction variationnelle : nous appellerons « induction variationnelle » la confirmation progressive d'un énoncé, la plupart du temps formulé mathématiquement, par l'observation de ses cas particuliers qui *diffèrent quantitativement*. Pour confirmer l'équation « PV = nRT », un scientifique ne cherche pas à observer une pluralité de cas similaires de pression, volume et température, mais il cherche plutôt à observer des pressions, volumes et températures *différents*, pour voir si ces différents cas respectent bien le rapport mathématique posé par l'équation.

Loi de phénoménalisation : une loi est une relation de variation concomitante entre plusieurs propriétés physiques. Elle est une loi de phénoménalisation si et seulement si au moins l'une de ces propriétés physiques est une quantité spatio-temporelle.

Lois équationnelles : les lois de la nature qui rendent vraies des énoncés physiques qui prennent la forme d'une équation mathématique.

Magnitude : le terme désigne la détermination d'une propriété mesurable, mais il est problématique car ontologiquement indéterminé. Au sens neutre, les magnitudes sont les « objets de la mesure », c'est-à-dire ce qui est mesuré par les déterminations métriques d'un SRM, ou désigné par les valeurs d'une échelle de mesure. Mais toute la question est de savoir si ces déterminations de grandeur sont des propriétés ou bien des particuliers. Nous optons pour une théorie où les magnitudes sont des particuliers (abstraits : voir faisceau instancié de relations).

Objectivité de la mesure : une mesure est *objective* lorsque nous pouvons accorder à certains aspects de la représentation mathématique (l'échelle de mesure ou le SRM) une signification physique. Cela signifie que, malgré les conventions de mesure que doivent faire les scientifiques, et donc la diversité des systèmes de représentation possibles, ces derniers contiennent des informations physiques. Lorsqu'une telle objectivité dans la mesure est possible malgré les choix conventionnels que l'on doit faire pour construire une représentation mathématique, on dit que la propriété physique est mesurable.

Objet de la mesure : dans les chapitres V et VI, nous appelons « objet de la mesure » simplement *ce qui est mesuré* dans et par une mesure. Nous utilisons ce terme seulement pour désigner l'objet de l'estimation qui a lieu dans une mesure, par exemple ce qui est désigné par les « 3 kilogrammes » que l'on attribue à ce sac de farine. Les objets de la mesure sont donc des entités ou phénomènes physiques, mais dont la nature ontologique est pour l'instant encore indéterminée ; en particulier, nous n'utilisons pas le terme « objet » au sens ontologique « d'objet particulier concret », où il est parfois utilisé par opposition à « propriété » ; et nous pourrons très bien envisager tour à tour que les objets de la mesure soient des particuliers manipulés par les opérations de mesure, où bien leurs propriétés.

Particularité primitive : désigne le fait qu'un particulier est distinct numériquement des autres non en raison de ses qualités différentes, ni par sa localisation spatio-temporelle différente, mais primitivement, comme individus. Cette particularité primitive est niée ici : nous pensons que la particularité et distinction numérique d'un particulier doit être fondée, et que si elle ne l'est pas par différence (qualitative, spatio-temporelle ou quantitative), elle doit l'être par les « individualités ontologiques » (voir glossaire).

Phénomènes : les « particuliers concrets », définis comme des réunions de tropes compresents avec au moins une détermination d'espace-temps.

Prédicat générique : tout prédicat F qui peut être véridiquement attribué à plusieurs particuliers, et qui désigne une caractéristique répétable de ces choses.

Prédictions mathématiques : prédictions qui sont apparemment fondées sur le formalisme mathématique de la théorie d'où elles sont déduites, plus que sur son contenu physique ; il existe des cas de prédiction physique qui sont dits « non-standards », précisément parce que le formalisme mathématique y est utilisé au-delà de son rôle computationnel, pour motiver, voire fonder, des prédictions. Ces prédictions sont en outre « existentielles » car ce n'est pas un effet physique, un événement ou un phénomène particulier qui est prédit en vertu d'une loi connue.

Problème des propriétés génériques : « (PM*) Comment concevoir le mode d'être des propriétés génériques, pour satisfaire à la fois la condition de particularité et la condition de généricité ? »

Propriété d'induction : caractéristique par laquelle tous les cas observés se ressemblent, et qui est nécessaire pour les compter comme éléments de la base inductive ; par exemple, « être une émeraude » et « être de couleur verte » sont les propriétés d'induction dans l'exemple de Goodman. Les propriétés d'induction sont donc les caractéristiques que les cas particuliers doivent avoir, dans la description qu'on en fait, pour entrer dans la base inductive O.

Propriété générique : une caractéristique que possèdent tous les particuliers concrets a, b, c, etc. dont sont vrais les énoncés F(a), F(a) ; F(c), etc. Elle est une propriété rare du plus haut degré de détermination. Par exemple, « être coloré » ne serait pas une propriété générique, mais « être jaune » oui.

Propriété rare : ce sont les caractéristiques physiques qui correspondent aux articulations naturelles des choses, selon Lewis. Ces propriétés sont « rares », par opposition aux « propriétés abondantes » que désignent n'importe quel prédicat construit dans un langage, et qui ne sont pas toutes (loin de là) des caractéristiques réelles des objets.

Ressemblance exacte / Identité qualitative : deux particuliers concrets se ressemblent partiellement dans la mesure où ils se ressemblent exactement sous certains aspects, mais diffèrent sous d'autres

aspects. La ressemblance exacte entre deux aspects se définit ensuite comme l'identité qualitative entre ces aspects des particuliers. On dira enfin que deux particuliers sont qualitativement identiques s'ils se ressemblent exactement sous tous leurs aspects.

SRM (Système de référence métrique) : un SRM pour toute grandeur physique est une description numérique d'un système physique qui consiste en un ou plusieurs particuliers, choisis comme étalons, et en une ou plusieurs opérations concrètes de mesure bien définies, impliquant l'usage d'instruments de mesure/

SRM constructible : lorsque qu'un SRM est spécifié par le nom d'un étalon e qui correspond à un objet particulier qui existe actuellement, nous dirons que le SRM est constructible ; pour qu'une échelle, identifiée à un SRM, puisse être construite, bien qu'aucun expérimentateur ne l'ait effectivement construite, il faut et il suffit que l'objet physique qu'elle requiert comme étalon existe *actuellement* dans le monde, et que l'on puisse définir une règle opératoire pour obtenir les déterminations métriques de ce SRM comme résultats de l'application de cette règle de mesure aux différents objets physiques mesurables. La condition de constructibilité d'une échelle est donc en partie une condition d'existence actuelle (celle de l'étalon), et en partie une condition modale concernant l'opération de mesure.

Tropes : aspects abstraits des particuliers concrets, qui sont eux-mêmes parfaitement particuliers et distincts les uns des autres, et qui peuvent être exactement ressemblants. Ils sont des particuliers (abstraits ou de second ordre) présents dans des particuliers concrets et individuels (de premier ordre). Ces tropes ne sont pas répétables comme les universaux.

Types d'états de choses ou universaux de particularisation (chez Armstrong) : ce sont les universaux qui ont pour instances des particuliers qui sont des états de choses « un particulier instanciant l'universel F » (par exemple).

Universaux : entités non-particulières, qui peuvent être entièrement instanciées de manière répétée dans l'espace et le temps, tout en étant *numériquement unes*.

Usage analytique / usage projectif d'une catégorie : par un usage *projectif* d'une catégorie ontologique, on ne signifie en réalité rien de plus que ce qu'établissent déjà les conditions de vérité fixées par une sémantique. On ne prétend alors à rien d'autre qu'une formulation équivalente de ces conditions de vérité, simplement « projetées » sur la réalité des choses par l'usage d'une catégorie ontologique. Nous appelons usage *analytique* d'une catégorie le fait d'y recourir non plus pour reformuler les conditions de vérité avec un vernis ontologique, mais pour analyser ce qui, ontologiquement, fonde ces conditions. L'usage analytique des catégories ontologiques les utilise pour concevoir l'être des vérifacteurs. Il ne reformule pas les conditions de vérité en les projetant sur les choses, mais sonde le fondement ontologique de cette vérité.

Variations concomitantes : nous proposons de concevoir une loi de la nature comme un rapport de *variations concomitantes* entre deux propriétés F et G. Chaque propriété est une classe de déterminations en variations quantitatives les unes par rapport aux autres. Deux propriétés F et G sont alors en variations concomitantes si et seulement si les deux classes sont appariées, c'est-à-dire que tout élément de l'une est associé à un et un seul élément de l'autre. Les deux propriétés sont reliées en variant ensemble. Soit E_F l'ensemble des f_1, f_2, f_n qui sont des cas particuliers de F, et E_G l'ensemble des g_1, g_2, g_n, qui sont des cas particuliers de G. Soit I_i la relation par laquelle f_i et g_i sont appariés, pour tout *i*. Le rapport de variations concomitantes entre F et G se décrit donc comme un ensemble de faits relationnels : *F et G sont en variations concomitantes si et seulement si pour tout i,* $I_i(f_i, g_i)$.

Variations inductives : Nous appelons ensuite *variations inductives* les différences entre les cas particuliers distincts de la base inductive. Sans ces différences, les cas observés ne pourraient pas être décrits et comptés distinctement dans la base inductive. C'est la condition pour pouvoir décrire *plusieurs* cas particuliers dans une même base inductive.

Variété non-humienne : classe d'instances d'une même loi qui sont en situation de diversité interne, qui ne satisfait pas la thèse de l'indifférence humienne. Ces instances sont telles qu'en étant ce qu'elles sont, elles ne peuvent pas exister sans *être* les membres d'une classe de régularité.

Vleuïfication (intégrale) : Une hypothèse inductive est encore vleuïfiable lorsqu'il existe un écart entre les aspects en variations inductives et les propriétés d'induction. La vleuïfication désigne le procédé par lequel on fait entrer dans les propriétés d'induction un de ces aspects jugés peu importants et rejetés d'abord dans les variations inductives (comme le fait d'être observé avant t). Nous dirons alors qu'on internalise les variations inductives. Une « vleuïfication intégrale » est une vleuïfication où ce procédé est appliqué à *tous* ces aspects des variations inductives, de telle sorte que les différents cas particuliers, tels qu'ils sont décrits dans la base inductive, ne diffèrent plus entre eux *que* par des aspects qui sont des propriétés d'induction.

Bibliographie

Adams, R., 1979. Primitive Thisness and Primitive Identity. *ournal of Philosophy,* Volume 76, p. 5–26.

Ardourel, Barberousse & Imbert, 2018. Inferential power, formalisms, and scientific models. *The 26th Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association.*

Armstrong, D. M., 1978a. *Universals and Scientific Realism I : Nominalism and realism.* s.l.:Cambridge Universiy Press.

Armstrong, D. M., 1978b. *Universals and Scientific Realism II : A Theory of Universals.* s.l.:Cambridge University Press.

Armstrong, D. M., 1980. Against Ostrich Nominalism: a Reply to Michael Devitt. *Pacific Philosophical Quarterly,* Volume 61, pp. 440-449.

Armstrong, D. M., 1983. *What is a Law of Nature?.* s.l.:Cambridge University Press.

Armstrong, D. M., 1984. Reply to Aune. Dans: R. Bogdan, éd. *D. M. Armstrong.* s.l.:D. Reidel Publishing Company, p. 250–256.

Armstrong, D. M., 1987. Comments on Swoyer and Forge. Dans: Forge, éd. *Measurement, Realism and Objectivity.* s.l.:Springer, Dordrecht, pp. 311-317.

Armstrong, D. M., 1988. Are Quantities Relations? A Reply to Bigelow and Pargetter. *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition,* 54(3), pp. 305-316.

Armstrong, D. M., 1989. *A Combinatorial Theory of Possibility.* s.l.:Cambridge University Press.

Armstrong, D. M., 1989. *Universals: An Opinionated Introduction.* s.l.:Westview Press.

Armstrong, D. M., 1993a. A World of States of Affairs. *Philosophical Perspectives,* Volume 7, pp. 429-440.

Armstrong, D. M., 1993b. The Identification Problem and the Inference Problem. *Philosophy and Phenomenological Research,* 53(2), pp. 421 - 422.

Armstrong, D. M., 1997. *A World of States of Affairs.* s.l.:Cambridge University Press.

Armstrong, D. M., 2004. *Truth and Truthmakers.* s.l.:Cambridge University Press.

Armstrong & Forrest, 1987. The Nature of Number. *Philosophical Papers,* 16(3), pp. 165-186.

Avicenne, 2018. *Logica.* s.l.:Vrin.

Bangu, S., 2008. Reifying mathematics? Prediction and symmetry classification. *Studies in History and Philosophy of Science,* 39(2), pp. 239-258.

Bangu, S., 2012. *The Applicability of Mathematics in Science: Indispensability and Ontology.* s.l.:Palgrave-Macmillan.

Barker, S. & Achinstein, P., 1960. On the New Riddle of Induction. *The Philosophical Review,* 69(4), pp. 511-522.

Barret & Stanford, 2006. Prediction. Dans: J. Pfeifer & S. Sarkar, éds. *The philosophy of science: an encyclopedia.* s.l.:Routledge.

Bates, J., 2005. The Old Problem of Induction and the New Reflective Equilibrium. *Dialectica,* 59(3), pp. 347-356.

Beebee, H., 2000. The Non-governing Conception of Laws of Nature. *Philosophy and Phenomenological Research,* Volume 61, p. 571–594.

Benacerraf, P., 1973. Mathematical Truth. *Journal of Philosophy,* 70(19), p. 661–679.

Bigelow, J. & Pargetter, R., 1988. Quantities. *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition,* 54(3), pp. 287-304.

Bigelow, J. & Pargetter, R., 1990. *Science and Necessity.* s.l.:Cambridge University Press.

Bird, A., 1998. *Philosophy of Science.* s.l.:Mcgill-Queen's University Press.

Bird, A., 2005. The dispositionalist conception of laws. *Foundations of Science,* 10(4), pp. 353-370.

Black, M., 1952. The Identity of Indiscernibles. *Mind,* 61(242), pp. 153-164.

Bliss, R. & Trogdon, K., 2016. Metaphysical Grounding. *Stanford Encyclopedia of Philosophy.*

Bradley, 1893. *Appearance and Reality.* Oxford: Clarendon Press.

Braithwaite, 1957. *Scientific Explanation.* s.l.:Cambridge University Press.

Bridgman, 1927. *The Logic of Modern Physics.* s.l.:Arno Press.

Bueno & Colyvan, 2011. An Inferential Conception of the Application of Mathematics. *Noûs ,* 45(2), pp. 345-374.

Bueno, French & Ladyman, 2002. Philosophy of Science. *On Representing the Relationship between the Mathematical and the Empirical,* 69(3), pp. 452-473.

Bueno, O., 1997. Empirical Adequacy: A Partial Structures Approach. *Studies in History and Philosophy of Science,* Volume 28, pp. 585-610.

Byerly & Lazara, 1973. Realist foundations of measurement. *Philosophy of Science,* 40(1), pp. 10-28.

Cameron, R., 2008. Turtles All the Way Down: Regress, Priority and Fundamentality. *The Philosophical Quarterly,* 58(230), p. 1–14.

Campbell, K., 1981. The Metaphysic of Abstract Particulars. *Midwest Studies in Philosophy,* 6(1), pp. 477-488.

Campbell, K., 1990. *Abstract Particulars.* s.l.:Blackwell.

Campbell, N., 1920. *Physics: the Elements.* s.l.:Cambridge University Press.

Carnap, 1928. *Der Logische Aufbau der Welt.* s.l.:Meiner Verlag.

Carnap, 1973. *Les fondements philosophiques de la physique.* s.l.:Armand Colin.

Carnap, R., 1947. On the Application of Inductive Logic. *Philosophy and Phenomenological Research,* 8(1), pp. 133-148.

Colyvan, M., 2001. *The Indispensability of Mathematics.* s.l.:Oxford University Press.

Daly, 1997. Tropes. Dans: D. H. Mellor & A. Oliver, éds. *Properties.* s.l.:Oxford University Press, p. 140–159.

Demopoulos, W. & Friedman, M., 1985. Bertrand Russell's the Analysis of Matter : Its Historical Context and Contemporary Interest. *Philosophy of Science,* 52(4), p. 621– 639.

DeVito, S., 1997. A Gruesome Problem for the Curve-Fitting Solution. *The British Journal for the Philosophy of Science,* 48(3), pp. 391-396.

Devitt, M., 1980. "Ostrich nominalism' or "mirage realism'?. *Pacific Philosophical Quarterly,* 61(4), pp. 433-449.

Dingle, 1950. A theory of measurement. *British Journal for the Philosophy of Science,* 1(1), pp. 5-26.

Dirac, P., 1928. The Quantum Theory of the Electron. *Proceedings of the Royal Society of London,* 117(778), pp. 610-624.

Dirac, P., 1930. A Theory of Electrons and Protons. *Proceedings of the Royal Society of London,* 126(801), pp. 360-365.

Dirac, P., 1931. Quantized Singularities in Electromagnetic Field. *Proceedings of the royal society,* 133(821), pp. 60-72.

Dorst, C., 2016. Evidence, Significance, and Counterfactuals: Schramm on the New Riddle of Induction. *Erkenntnis,* Volume 81, p. 143–154.

Drapeau Vieira Contim, F., 2008. Essence, Identité, Individualité. Dans: Ludwig & Pradeau, éds. *Cf Felipe Drapeau Viera Contim, « Essence, Identité, Individualité », L'individu, perspectives contemporaines, Vrin.* s.l.:Vrin.

Dretske, F., 1977. Laws of Nature. *Philosophy of Science,* 44(2), pp. 248-268.

Dummett, 1991. *Frege: Philosophy of Mathematics.* s.l.:Harvard University Press.

Duns Scot, J., 2005. *Le Principe d'individuation.* s.l.:Vrin.

Earman, J. & Roberts, J. T., 2005. Contact with the nomic: A challenge for deniers of Humean supervenience about laws of nature part I: Humean supervenience. *Philosophy and Phenomenological Research,* 71(1), p. 1–22.

Eddon, M., 2007. Armstrong on Quantities and Resemblance. *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition,* 136(3), pp. 385-404.

Eddon, M., 2013. Quantitative Properties. *Philosophy Compass,* 8(7), pp. 633-645.

Elgin, C. Z., 1997. *The Philosophy of Nelson Goodman: Selected Essays.* s.l.:Garland.

Ellis, B., 1966. *Basic Concepts of Measurement.* s.l.:Cambridge University Press.

Euler, 1822. *Elements of Algebra.* s.l.:s.n.

Field, H., 1980. *Science Without Numbers.* s.l.:Princeton University Press.

Fisher, 2018. Structural universals A. R. J. de. *Philosophy Compass ,* 13(10).

Forge, 1987. On Ellis' Theory of Quantities. Dans: Forge, éd. *Measurement, Realism and Objectivity.* s.l.:Springer, Dordrecht.

Forge, J., 1986. David Armstrong on Functional Laws. *Philosophy of Science,* 53(4), pp. 584-587.

Frege, 1903. *Grundgesetze der Arithmetik.* s.l.:Hermann Pohle.

Frege, G., 1977. On Concept and Object. Dans: Geach & Black, éds. *Translations from the Philosophical Writings of Gottlob Frege.* s.l.:Basil Blackwell.

French, S., 2014. *The Structure of the World: Metaphysics and Representation.* s.l.:Oxford University Press.

French, S. & Krause, D., 2006. *Identity in Physics.* s.l.:Oxford University Press.

Gell-Mann, M., 1961. *The Eightfold Way: A Theory of Strong Interaction Symmetry.* s.l.:California Inst. of Tech..

Ginammi, M., 2016. Avoiding reification. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics,* Volume 53, p. 20–27.

Goodman, 1951. *The Structure of Appearance Nelson.* s.l.:Harvard University Press.

Goodman, 1954a. The New Riddle of Induction. Dans: *Fact, Fiction and Forecast.* s.l.:Athlone Press.

Goodman, 1972. Seven Strictures on Similarity. Dans: *Problems and Projects.* s.l.:Bobs-Merril.

Goodman, N., 1946. A query on confirmation. *The journal of philosophy,* 11(3), p. 1946.

Goodman, N., 1954b. Prospects for a Theory of Projection. Dans: *Fact, Fiction, and Forecast.* s.l.:Athlone Press.

Goodman, N., 1978. *Ways of Worldmaking.* s.l.:Harvester Press.

Griffiths, D., 2008. *Introduction to elementary particles.* s.l.:Wiley VCH.

Hölder, 1996. The Axioms of Quantity and the Theory of Measurement. *Journal of mathematical psychology,* Volume 40, pp. 235□-252.

Hacking, I., 1993. Goodman's New Riddle is Pre-Humean Ian Hacking. *Revue Internationale de Philosophie,* 46(185), pp. 229-243.

Hargittai, I. & Hargittai, M., 2004. *Conversations with Famous Physicists.* s.l.:Imperial College Press.

Heil, J., 2003. *From an Ontological Point of View.* s.l.:Clarendon Press.

Helmholtz, 1887. *Zählen und Messen erkenntnisstheoretisch betrachtet.* s.l.:s.n.

Hempel, c., 1945. Studies in the Logic of Confirmation. *Mind,* 54(213), pp. 1-26.

Hempel, C., 1952. *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science.* s.l.:University of Chicago Press.

Hempel, C., 1960. Inductive Inconsistencies. *Synthese,* 12(4), pp. 439-469.

Hempel, C., 1965. *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science.* s.l.:Free Press.

Hempel, C., 1967. Confirmation, Qualitative Aspects. Dans: P. Edwards, éd. *The Encyclopedia of Philosophy, Vol. II.* s.l.:The Macmillan Co. and The Free Press, p. 185–187.

Hempel, C., 2012. *Eléments d'épistémologie.* s.l.:Armand Colin.

Hempel, C. & Oppenheim, P., 1948. Studies in the Logic of Explanation. *Philosophy of Science,* 15(2), pp. 135-175.

Henderson, L., 2019. The Problem of Induction. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy.*

Hetherington, S., 2001. Why There Need Not Be Any Grue Problem about Inductive Inference as Such. *Philosophy,* 76(295), pp. 127-136.

Hochberg, 1969. Moore and Russell on Particulars, Relationsnd Identity. Dans: *Studies in the Philosophy of G. E. Moore.* s.l.:Klemke.

Hochberg, 1988. A Refutation of Moderate Realism. *Australasian Journal of Philosophy,* 66(2), p. 188–207.

Horwich, 1990. *Truth.* s.l.:Blackwell.

Hullett, J. & Schwartz, R., 1967. Grue: Some Remarks. *The Journal of Philosophy,* 64(9), pp. 259-271.

Hume, D., 2008. *Enquête sur l'entendement humain.* s.l.:Vrin.

Imocrante, M., 2017. *Which epistemology for applied mathematics? From classical debates to structural accounts..* s.l.:s.n.

Islami, A., 2016. A match not made in heaven: on the applicability of mathematics in physics. *Synthese.*

Israël, R., 2004. Two interpretations of 'grue' – or how to misunderstand the new riddle of induction. *Analysis,* 64(4), p. 335–339.

Jackson, F., 1975. Grue. *The Journal of Philosophy,* 72(5), pp. 113-131.

Jackson, F., 1977. Statements about universals. *Mind,* 86(343), pp. 427-429.

Jackson, F. & Pargetter, R., 1980. Confirmation and the Nomological. *Canadian Journal of Philosophy,* 10(3), pp. 415-428.

Jammer, M., 2000. *Concepts of Mass in Contemporary Physics and Philosophy.* s.l.:Princeton University Press.

Johnson, 1921. *Logic (Part I).* s.l.:Cambridge University Press.

Küng, 1967. *Ontology and the Logistic Analysis of Language.* s.l.:D. Riedel Publishing Company.

Kant, 1970. *Quelques opuscules précritiques.* s.l.:Vrin.

Kant, 1997. *Prolégomènes à toute métaphysique future.* s.l.:Vrin.

Kant, 2006. *Critique de la raison pure.* s.l.:Garnier Flammarion.

Keinänen & Hakkarinen, 2014. The Problem of Trope Individuation: A Reply to Lowe. *Erkenntnis,* 79(1), p. 65–79.

Keinänen, M., 2011. Tropes—The Basic Constituents of Powerful Particulars?. *Dialectica,* 65(3), p. 419–450.

Kemmer, N., 1938. The charge-dependence of nuclear forces. *Proc. Camb. Phil. Soc,* Volume 34, pp. 354-364.

Kistler, M., 1999. *Causalité et lois de la nature.* s.l.:Vrin.

Kistler, M., 2004. Le combinatorialisme et le réalisme nomologique sont-ils compatibles ?. Dans: J. Monnoyer, éd. *La structure du monde : objets, propriétés, états de choses.* s.l.:Vrin, pp. 199-221.

Kneale, W., 1950. Natural laws and contrary to fact conditionals. *Analysis,* 10(6), pp. 121-125.

Kowalenko, R., 2012. Reply to Israel on the New Riddle of Induction. *Philosophia,* 40(3), pp. 549-552.

Krantz, D., Luce, R., Suppes, P. & and Tversky, A., 1971. *Foundations o f Measurement, Vol. I..* s.l.:Academic Press.

Kripke, 1996. *Règles et langage privé. Introduction au paradoxe de Wittgenstein.* s.l.:Seuil.

Ladyman & Ross, 2007. *Every Thing Must Go.* s.l.:Oxford University Press.

Laudan, L. & Leplin, J., 1991. Empirical equivalence and underdetermination. *Journal of Philosophy,* Volume 88, p. 269–285.

Leverrier, U., 1846. Recherches sur les mouvements d'Uranus. *Compte rendu à l'Académie des Sciences,* Volume XII.

Lewis, 1986a. *On the Plurality of Worlds.* s.l.:Wiley-Blackwell.

Lewis, D., 1973. *Counterfactuals.* s.l.:Blackwell.

Lewis, D., 1983. New Work For a Theory of Universals. *Australasian Journal of Philosophy,* Volume 61, p. 343–377.

Lewis, D., 1986b. Against Structural Universals. *Australasian Journal of Philosophy,* Volume 64, p. 25–46.

Lewis, D., 1986c. *Philosophical Papers, Volume II.* s.l.:Oxford University Press.

Lewis, D., 1999. *Papers in Metaphysics and Epistemology.* s.l.:Cambridge University Press.

Libera, A. d., 1996. *La querelle des universaux: de Platon à la fin du Moyen Age.* s.l.:Seuil.

Lipkin, H. J., 2002. *Lie groups for pedestrians.* s.l.:Dover.

Locke, 2000. *Essai Philosophique Concernant L'Entendement Humain.* s.l.:Vrin.

Lowe, 1998. *The Possibility of Metaphysics: Substance, Identity, and Time.* s.l.:Clarendon Press.

Lowe, 2003. Individuation. Dans: M. J. Loux & D. W. Zimmerman, éds. *The Oxford Handbook of Metaphysics.* s.l.:Oxford University Press.

Lowe, 2006. *The Four-Category Ontology: A Metaphysical Foundation for Natural Science.* s.l.:Oxford University Press.

Luce, N. & Tukey, J., 1964. Simultaneous conjoint measurement: A new type of fundamental measurement. *Journal of Mathematical Psychology,* 1(1), pp. 1-27.

Ludwig, 2008. Identification et individuation. Dans: Ludwig & Pradeau, éds. *L'individu : perspectives contemporaines.* s.l.:Vrin.

MacBride, F., 1998. Where are Particulars and Universais?. *Dialectica,* 52(3), pp. 203-227.

Martin, C. B., 1980. Substance Substantiated. *Australasian Journal of Philosophy,* 58(1), p. 3–10.

Maurin, A.-S., 2012. Bradley's Regress. *Philosophy Compass,* 7(11), p. 794–807.

Maurin, A.-S., 2016. Tropes: For and Against. Dans: *Metaphysics and Scientific Realism: Essays in Honour of David Malet Armstrong.* s.l.:s.n., p. 85–103.

Maurin, A.-S., 2018. Tropes. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy.*

Maxwell, N., 1993. Induction and Scientific Realism. *The British Journal for the Philosophy of Science,* 44(1), pp. 61-79.

Michell, J., 1993. The origins of the representational theory of measurement: Helmholtz, Hölder, and Russell. *Studies in History and Philosophy of Science,* 24(2), pp. 185-206.

Mill, J. S., 1866. *Système de logique déductive et inductive.* s.l.:Librairie philosophique de Ladrange.

Moore, G. E., 1923. Are the Characteristics of Particular Things Universal or Particular?. *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes,* Volume 3, pp. 95-128.

Moore, G. E., 1939. *Proof of an External World.* s.l.:Milford.

Moreland, J. P., 1985. *Universals, Qualities, and Quality-Instances.* s.l.:University Press of America.

Mulligan, Simons & Smith, 1984. Truth-Makers. *Philosophy and Phenomenological Research,* 44(3), pp. 287-321.

Mundy, B., 1987. The Metaphysics of Quantity. *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition,* 51(1), pp. 29-54.

Nagel, 1931. Measurement. *Erkenntnis,* Volume 2, pp. 313-335.

Nagel, 1961. *The Structure of Science.* s.l.:Harcourt, Brace & World, Inc.

Ne'eman, Y., 1999. *Les chasseurs de particules.* s.l.:Odile Jacob.

Newman, M. H. A., 1928. Mr. Russell's "Causal Theory of Perception". *Mind,* 37(146), pp. 137-148.

Newton, 1728. *Universal Arithmetik, 2nd edition.* s.l.:s.n.

Nicod, J., 1961. *Le problème logique de l'induction.* s.l.:PUF.

O'Leary-Hawthorne, J., 1995. The Bundle Theory of Substance and the Identity of Indiscernibles. *Analysis,* Volume 55, p. 191–196.

Pap, 1959. Nominalism, empiricism and universals. *Philosophical Quarterly,* 9(37), pp. 330-340.

Penrose, R., 2004. *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe.* s.l.:Alfred A. Knopf.

Pincock, C., 2012. *Mathematics and Scientific Representation.* s.l.:Oxford University Press.

Price, 1953. *Thinking and Experience.* s.l.:Hutchinson's University Library.

Priest, G., 1976. Gruesome Simplicity. *Philosophy of Science,* 43(3), pp. 432-437.

Psillos, S., 2009. The Present State of the Scientific Realism Debate. Dans: *Knowing the Structure of Nature.* s.l.:Palgrave Macmillan.

Quine, 1948. On What There Is. *Review of Metaphysics,* 2(1), pp. 21-38.

Quine, 1970. *Philosophy of Logic.* s.l.:Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Quine, 1976. Grades of discriminability. *Journal of Philosophy,* 73(5), pp. 113-116.

Quine, W., 1969. Natural Kinds. Dans: N. Rescher, éd. *Essays in Honor of Carl G. Hempel.* s.l.:Springer, Dordrecht.

Quine, W., 1986. Success and Limits of Mathematization. Dans: *Theories and things.* s.l.:Harvard University Press.

Ramsey, F. P., 1978. *Universals of Law and of Fact.* s.l.:Routledge & Kegan Pau.

Rodriguez-Pereyra, G., 2002. *Resemblance Nominalism: A Solution to the Problem of Universals.* s.l.:Oxford University Press.

Rosen, G., 2018. Abstract Objects. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy.*

Russell, 1937. *Principles of Mathematics.* s.l.:Routledge.

Russell, B., 1912. On the Notion of Cause. *Proceedings of the Aristotelian Society,* Volume 13.

Russell, B., 1948. *Human Knowledge, its Scope and Limits.* s.l.:Allen and Unwin.

Russell, B., 1959. *Problems of Philosophy.* s.l.:Oxford University Press.

Russell, B., 1989. *Problèmes de philosophie.* s.l.:Payot.

Samios, N. P. & Fowler, W. B., 1964. The Omega-Minus Experiment. *Scientific American,* 211(4), pp. 36-45.

Saunders, 2003. Physics and Leibniz's Principles. Dans: Brading & Castellani, éds. *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections.* s.l.:Cambridge University Press.

Saunders, 2006. Are Quantum Particles Objects?. *Analysis,* 66(289), p. 52– 63.

Schramm, A., 2014. Evidence, Hypothesis, and Grue. *Erkenntnis,* 79 (3), pp. 571-591.

Shapiro, 1983. Mathematics and Reality. *Philosophy of Science,* 50(4), pp. 523-548.

Simons, P., 1994. Particulars in Particular Clothing: Three Trope Theories of Substance. *Philosophy and Phenomenological Research,* 54(3), pp. 553-575.

Sklar, L., 1967. Types of inter-theoretic reduction. *British Journal for Philosophy of Science,* Volume 5, p. 464–482.

Smart, J., 1985. Laws of Nature and Cosmic Coincidences. *The Philosophical Quarterly ,* 35(140), pp. 272-280.

Stalker, D. G., 1994. *Grue! : the new riddle of induction.* s.l.:Open Court.

Steiner, 1998. *The Applicability of Mathematics as a Philosophical Problem.* s.l.:Harvard University Press.

Stevens, S. S., 1946. On the Theory of Scales of Measurement. *Science, New Series,* 103(2684), pp. 677-680.

Stout, G. F., 1921. The Nature of Universals and Propositions. *Proceedings of the British Academy,* Volume X, p. 157–172.

Stout, G. F., 1923. Are the Characteristics of Particular Things Universal or Particular?. *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes,* Volume 3, pp. 95-128.

Strawson, 1971. *Les individus.* s.l.:Seuil.

Suppes, P., 1969. *Studies in the Methodology and Philosophy of Science.* s.l.:Dordrecht: D. Reidel.

Swoyer, C., 1987. The Metaphysics of Measurement. Dans: Forge, éd. *Measurement, Realism and Objectivity.* s.l.:Springer, pp. 235-290.

Swoyer, C., 1991. Structural Representation and Surrogative Reasoning. *Synthese,* 87(3), pp. 449-508.

Tarski, 1943. The semantic conception of truth and the foundations of semantics. *Philosophy and Phenomenological Research,* 4(3), pp. 341-376.

Tooley, M., 1977. The Nature of Laws. *Canadian Journal of Philosophy,* 7(4), pp. 667-698.

Tooley, M., 1987. *Causation: A Realist Approach.* s.l.:Oxford University Press.

Trogdon, K., 2013. An Introduction to Grounding. Dans: Hoeltje, Schnieder & Steinberg, éds. *Varieties of Dependence.* s.l.:Philosophia Verlag.

Urbach, P. & Howson, C., 1993. *Scientific Reasoning: The Bayesian Approach.* s.l.:Open Court.

Vallicella, W. F., 2005. Relations, Monism, and the Vindication of Bradley's Regress. *Dialectica,* 56(1), p. 3–35.

van Fraassen, B., 1989. *Laws and Symmetry.* s.l.:Oxford University Press.

Van Fraassen, B., 1989. *Laws and Symmetry.* s.l.:Oxford University Press.

Van Fraassen, B., 2008. *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective.* s.l.:Oxford University Press.

Van Fraassen, B. C., 1980. *The Scientific Image.* s.l.:Oxford University Press.

Wetzel, L., 2009. *Types and Tokens: On Abstract Objects.* s.l.:MIT Press.

Wetzel, L., 2018. ypes and Tokens. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy.*

Wiggins, 2001. *Sameness and Substance Renewed.* s.l.:Cambridge University Press.

Wigner, 1960. The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences. *Communications in Pure and Applied Mathematics,* Volume 13, p. 1–14.

Wigner, E., 1939. On unitary representations of the inhomogenous Lorentz group. *Annals of mathematics,* Volume 40, pp. 149-204.

Williams, D. C., 1953. On the Elements of Being (I). *Review of Metaphysics,* 7 (2):3-18, 171-92 (1953)(2), pp. 3-18.

Williams, D. C., 1953. On the Elements of Being (II). *The Review of Metaphysics,* 7(2), pp. 171-192.

Wittgenstein, 2005. *Recherches philosophiques.* s.l.:Gallimard.

Wolheim, 1980. *Art and its Object.* s.l.:Cambridge University Press.

Wolterstorff, N., 1960. Qualities. *The Philosophical Review,* 69(2), pp. 183-200.

Zimmerman, D., 1995. Theories of masses and problems of constitution. *Philosophical Review,* 104(1), pp. 53-110.

Zimmerman, D., 1997. Distinct Indiscernibles and the Bundle Theory. *Mind,* Volume 106, pp. 305-309.

Les quantités dans la nature. Les conditions ontologiques de l'applicabilité des mathématiques.

Résumé

Si nos théories physiques peuvent décrire les traits les plus généraux de la réalité, on sait aussi que pour le faire, elles utilisent le langage des mathématiques. On peut alors légitimement se demander si notre capacité à décrire, sinon la nature intime des objets et phénomènes physiques, du moins les relations et structures qu'ils instancient, ne vient pas de cette application des mathématiques. Dans cette thèse, nous soutenons que les mathématiques sont si efficacement applicables en physique tout simplement parce que la réalité décrite par les physiciens est de nature quantitative. Pour cela, nous proposons d'abord une ontologie des quantités, puis des lois de la nature, qui s'inscrit dans les débats contemporains sur la nature des propriétés (théorie des universaux, théorie des tropes, ou nominalisme), et des lois (régularités, ou relations entre universaux). Ensuite, nous examinons deux sortes d'application des mathématiques : la mathématisation des phénomènes par la mesure, puis la formulation mathématique des équations reliant des grandeurs physiques. Nous montrons alors que les propriétés et les lois *doivent* être comme notre ontologie les décrit, *pour que* les mathématiques soient légitimement, et si efficacement, applicables. L'intérêt de ce travail est d'articuler des discussions purement ontologiques (et très anciennes, comme la querelle des universaux) avec des exigences épistémologiques rigoureuses qui émanent de la physique actuelle. Cette articulation est conçue de manière transcendantale, car la nature quantitative de la réalité (des propriétés et des lois) y est défendue comme condition d'applicabilité des mathématiques en physique.

Mots-clés : quantité ; lois de la nature ; propriété quantitative ; ontologie ; universaux ; nominalisme ; théorie des tropes ; philosophie de la physique ; métaphysique des sciences ; problème de l'induction ; énigme de Goodman ; Goodman ; Armstrong ; Campbell ; prédiction ; confirmation ; réalisme structural ontique

Quantities in Nature. The applicability of mathematics and its ontological conditions.

Summary

Assuming that our best physical theories succeed in describing the most general features of reality, one can only be struck by the effectiveness of mathematics in physics, and wonder whether our ability to describe, if not the very nature of physical entities, at least their relations and the fundamental structures they enter, does not result from applying mathematics. In this dissertation, we claim that mathematical theories are so effectively applicable in physics merely because physical reality is of quantitative nature. We begin by displaying and supporting an ontology of quantities and laws of nature, in the context of current philosophical debates on the nature of properties (universals, classes of tropes, or even nominalistic resemblance classes) and of laws (as mere regularities or as relations among universals). Then we consider two main ways mathematics are applied: first, the way measurement mathematizes physical phenomena, second, the way mathematical concepts are used to formulate equations linking physical quantities. Our reasoning has eventually a transcendental flavor: properties and laws of nature *must be* as described by the ontology we first support with purely *a priori* arguments, *if* mathematical theories are to be *legitimately* and so effectively applied in measurements and equations. What could make this work valuable is its attempt to link purely ontological (and often very ancient) discussions with rigorous epistemological requirements of modern and contemporary physics. The quantitative nature of being (properties and laws) is thus supported on a transcendental basis: as a necessary condition for mathematics to be legitimately applicable in physics.

Keywords : quantities; laws of nature; properties; ontology; universals; nominalism; tropes theory; philosophy of physics; metaphysics of science; problem of induction; Goodman's new riddle of induction; Goodman; Armstrong; Campbell; prediction; confirmation; Ontic Structural Realism

UNIVERSITÉ SORBONNE UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE :
ED 5 – Concepts et langages
Maison de la Recherche, 28 rue Serpente, 75006 Paris, FRANCE

DISCIPLINE : Philosophie