



HAL
open science

REGARDS CROISÉS SUR DEUX ŒUVRES: MORIN E.,2005, Introduction à la pensée complexe, Paris, Ed. Seuil (1ière édition: 1990 ESF) BERTHOZ A., 2009, La simplicité, Paris, Odile Jacob.

Jean-Jacques Salone

► **To cite this version:**

Jean-Jacques Salone. REGARDS CROISÉS SUR DEUX ŒUVRES: MORIN E.,2005, Introduction à la pensée complexe, Paris, Ed. Seuil (1ière édition: 1990 ESF) BERTHOZ A., 2009, La simplicité, Paris, Odile Jacob.. 2024. hal-04682964

HAL Id: hal-04682964

<https://hal.science/hal-04682964v1>

Preprint submitted on 31 Aug 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

REGARDS CROISÉS SUR DEUX ŒUVRES:

MORIN E., 2005, Introduction à la pensée complexe,

Paris, Ed. Seuil (1^{ière} édition: 1990 ESF)

BERTHOZ A., 2009, La simplicité,

Paris, Odile Jacob.

suivi d'un essai intitulé:

Hypergraphes et Complexité

Jean-Jacques Salone

février 2011

Université de Provence

Sciences de l'éducation

Jeanne Mallet, responsable Master Recherche II

Table des matières

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 1 |
| Les zones noires des Sciences Physiques..... | 2 |
| Les certitudes de la fin du XIXe siècle..... | 2 |
| Les premières fissures..... | 4 |
| Les « deux brèches »..... | 6 |
| La faille mathématique..... | 8 |
| Les abysses du nouveau millénaire..... | 9 |
| Cadres théoriques..... | 11 |
| Cybernétique et théorie des systèmes..... | 12 |
| Approche thermodynamique..... | 13 |
| L'information et l'organisation..... | 14 |
| Complexité et Simplexité..... | 16 |
| Les systèmes vivants: auto-éco-organisés..... | 16 |
| Nécessité d'une « Sienza nuova »..... | 17 |
| Les définitions..... | 17 |
| Les principes..... | 18 |
| Les exemples:..... | 21 |
| Une étude des processus de preuve en mathématiques chez des élèves de collège, par Balacheff | 21 |
| Complexité et validation des connaissances..... | 22 |
| Étudiant en M2 sciences de l'éducation..... | 24 |
| Annexe: Hypergraphes et Complexité..... | 25 |
| Système d'objets et de relations..... | 25 |
| Modélisation statique par les hypergraphes..... | 26 |
| Modélisation dynamique par les flux..... | 27 |
| L' Univers et la pensée..... | 28 |
| L'ordre et le chaos..... | 29 |

INTRODUCTION

Que ce soit en philosophie ou en sciences, la pensée rationnelle du siècle des lumières aura conduit à deux siècles d'expansion exponentielle des connaissances, procurant à l'espèce humaine une potentialité jusqu'alors inégalée sur Terre. Mais en ce XXI^e siècle naissant, les doutes, les contradictions, les zones noires se sont accumulées.

Dans son *'Introduction à la pensée complexe'*, Edgar Morin nous présente plusieurs de ces « brèches » de la connaissance. Elles initient une démonstration de « la nécessité d'une pensée complexe », c'est à dire une « *Scienza nuova* » qui dépasserait les frontières actuelles en intégrant dans son cadre théorique l'ordre et le chaos, les certitudes et les doutes, les nécessités et les indéterminations. Car sciences dures et sciences molles sont aujourd'hui encore clivées par les disciplines, alors que leur objet est unique: le monde, avec en son sein l'Homme. Morin précise trois principes qui pourraient sous-tendre une éventuelle théorie de la complexité. Il soumet ensuite ces principes et leur cadre théorique à l'analyse de deux thèmes philosophiques: l'action humaine et l'entreprise au sens économique du terme (avec un préambule sur la causalité). Le dernier chapitre constitue à la fois un retour réflexif et épistémologique sur la complexité et sa portée.

Alain Berthoz part du même constat d'incohérence des cadres théoriques actuels avec les observations phénoménologiques. Son discours s'articule autour de deux axes: la biologie humaine avec pour fer de lance les neurosciences, et ce qu'elle induit dans le débat philosophique. Après une introduction plus brève et plus générale que Morin, il dresse rapidement une liste d'invariants fonctionnels du vivant dont il dégage le concept de 'simplexité'. Proche et différente malgré tout de la complexité morinienne, la simplexité est déclinée dans le chapitre 2 en plusieurs principes, plus nombreux et plus techniques que les trois moriniens. Ils sont ensuite instanciés dans les chapitres suivants par divers aspects du fonctionnement, biologique et psychique, de l'Homme.

Le plan de cette 'fiche de lecture' adopte une organisation parallèle à celle des deux auteurs. La démonstration de Morin sera d'abord reconstruite en s'appuyant sur l'évolution des 'sciences dures' depuis le XIX^e siècle jusqu'à nos jours. Avant d'explicitier les définitions et les principes proposés par les deux auteurs, une synthèse des cadres théoriques possibles sera tentée. Ce sera l'occasion d'évoquer succinctement quelques champs mathématiques ou physiques modernes. Un dernier paragraphe et une annexe exemplifieront la théorie, comme le font Morin et Berthoz, mais avec un choix de thèmes plus personnels qui s'inscrivent davantage dans le contexte du mémoire.

LES ZONES NOIRES DES SCIENCES PHYSIQUES

Les certitudes de la fin du XIX^e siècle

A la fin du XIX^e siècle, la science physique répartit les 'choses du monde' en deux catégories: la matière et les rayonnements. La matière suit les lois classiques de la mécanique newtonienne, tandis que les rayonnement, comme la lumière, obéissent aux équations de l'électromagnétisme de Maxwell. Matière et rayonnement sont reliés par la force de Lorentz. Cette réduction des multiples branches de la physique qui existaient jusque là en deux champs théoriques est une véritable avancée scientifique. L'unification des modèles à toujours été un objectif des physiciens. C'est ce que Morin appelle '*le paradigme de simplicité*' (Morin, p. 79)^{1 2}. « Avec cette volonté de simplification, la connaissance scientifique se donnait pour mission de dévoiler la simplicité cachée derrière l'apparente multiplicité et l'apparent désordre des phénomènes » (Morin, p.80).

Le paradigme de simplicité est hérité du siècle des Lumières. Descartes déjà au siècle précédent en avait fixé les principes: disjonction (séparation du réel en cas particuliers), réduction (organisation des cas en catégories), abstraction (généralisation des catégories et théorisation) et esprit critique. Mais ce mode de pensée, rationnelle et déductive, est biaisé. Il écarte, dès les présocratiques, la pensée subjective et ses constructions mythologiques intuitives, et « ses conséquences nocives ultimes ne commencent à se révéler qu'au XX^e siècle » (Morin, p.18). Pour Berthoz, cette hégémonie du rationalisme cartésien a une origine dans la nature biologique de l'Homme. Les « merveilles et impostures de la simplicité ... face au défi de la complexité... » sont « destinées à éviter la folie collective ou individuelle due à l'impossibilité pour notre cerveau de traiter l'immense quantité d'informations nécessaires pour vivre, agir et comprendre... » (Berthoz, p.9)

Mais revenons à cette fin de siècle. Le chaos ne s'y laisse pas si facilement dominer. Des pans entiers de la connaissance scientifique, souvent issus de savoirs empiriques plus anciens, sont difficiles à intégrer à la mécanique et à l'électromagnétisme. C'est le cas de la thermodynamique, science qui trouve ses racines dans la pensée hellénique du V^e siècle avant JC (les 4 éléments d'Empédocle) et qui étudie les phénomènes liés à la chaleur. En 1850 Rudolf Clausius parvient partiellement à sa mise en forme théorique. Il en précise son objet: l'évolution d'un système en

1 Les citations extraites des deux ouvrages présentés dans cette fiche se feront par référencement de l'auteur et des pages entre parenthèses. Les autres citations seront référencées en notes de bas de page.

2 Pour un aperçu d'ensemble mais non actualisé de l'œuvre et de la bibliographie de Morin, on pourra se reporter à: Morin E. 1994, *La complexité humaine*, Champs-L'Essentiel, Paris, Ed. Flammarion

fonction de ses échanges d'énergie (chaleur Q ou travail w) avec le milieu extérieur. L'image disjonctive souvent adoptée pour se représenter mentalement un système thermodynamique est celle d'une surface, sorte de peau, contenant le système et le séparant du reste de l'univers, et à travers laquelle se font les échanges. Le système étudié est associé à un ensemble d'états possibles, notion vague qui est classiquement identifiée à une liste d'informations nécessaires à la description du système. C'est là, sur le choix des informations retenues, que le réductionnisme s'exerce, dans une volonté pragmatique de pouvoir mesurer et théoriser. La liste étant trop longue, la thermodynamique ne retient que quelques paramètres (chaleur, travail, masses, vitesses, débits, volume, pression, température...). En outre, vouloir mesurer l'état d'un système est déjà en soi une intention porteuse de représentations phénoménologiques du monde: pourquoi en effet un système serait-il mesurable *a priori*? C'est ce que postule implicitement la thermodynamique en actant l'existence de fonctions d'états, c'est à dire de fonctions ne dépendant que de l'état du système, et qui par là permettent de l'appréhender.

Le premier principe de la thermodynamique postule ainsi l'existence de la fonction d'état 'énergie interne' U , dont les variations mesurent les échanges de chaleur ou de travail: $dU = \delta Q + \delta w$. (les lettres d et δ désignent en physique les variations des quantités qu'elles préfixent).

Le second principe de la thermodynamique définit l'entropie S , une fonction d'état complétant la température T , grandeur physique mesurable, dans sa visée de décrire l'agitation interne du système. $dS = \delta Q/T$. Boltzmann établira en 1878 un pont entre cette description globale de l'agitation du système et sa réalité atomiste. La relation gravée sur sa tombe: $S = k \ln W$ relie en effet l'entropie au nombre d'états possibles W du système (k est une des nombreuses constantes de la Physique, dite de Boltzmann). L'entropie apparaît là en quelque sorte comme une mesure du désordre. L'équation de Boltzmann est pour les sciences physiques un « événement majeur, l'irruption du désordre dans l'univers physique » (Morin, p.81). Mais seules les variations de l'entropie sont calculables, et le problème de sa valeur absolue se pose. En 1906 Walther Nernst le ramènera à celui du zéro absolu par son troisième principe: « À la limite du zéro absolu, température qui ne saurait être atteinte, l'entropie d'équilibre d'un système tend vers une constante indépendante des autres paramètres intensifs, constante qui est prise nulle, si possible. »

Au tournant du siècle des points phénoménologiques délicats nouveaux apparaissent et résistent. Les deux premiers, chronologiquement, sont le mouvement brownien et le zéro absolu. Observé par Robert Brown en 1827, le mouvement brownien est cette agitation incessante qui anime les

particules de pollen et de colorant dans de l'eau. La dynamique du mouvement brownien semble échapper aux lois newtoniennes. En 1905 Albert Einstein démontrera mathématiquement son origine dans le mouvement aléatoire des molécules. Quant au zéro absolu, c'est cet état de la matière où par définition même l'agitation atomique a cessé. Découvert en 1848 par Lord Kelvin, il est un défi intellectuel pour le déterminisme classique. Comment en effet concevoir une machine susceptible d'atteindre cette température de zéro degré Kelvin sans qu'elle même ne soit déjà dans l'état de zéro absolu? Impossible!

Les premières fissures

Le début du XX^e siècle n'échappe pas à son lot de zones noires nouvelles, rendant l'édifice de la science physique déterministe du siècle passé de plus en plus instable. Après que Max Planck eut formulé l'hypothèse spectrographique suivant laquelle la lumière émise par des corps rayonnants n'était pas un continuum de fréquences – de l'infra rouge à l'ultra violet en passant par le spectre visible de l'arc-en-ciel-, mais au contraire était constituée de raies séparées, après cela donc, Einstein explique, toujours en 1905, de façon brillante, comment l'effet photoélectrique, jusqu'alors inexplicable, prend naissance dans des quanta énergétiques. $E = hv$ et $p = h\lambda/2\pi$: La lumière émise par des atomes ne se comporte pas comme un rayonnement, mais comme un corpuscule, avec une quantité d'énergie précise et localisée. Le photon venait d'être inventé. « A cette époque la lumière était une onde les lundis, mercredis et vendredis, et un ensemble de particules les mardis, jeudis et samedis. Restait le dimanche pour réfléchir à la question. »³ De la lumière qui se comporte comme de la matière alors que c'est depuis toujours le modèle de tout rayonnement, voilà de quoi déstabiliser plus d'un scientifique! En 1923 Louis de Broglie va plus loin en renversant la situation: les corpuscules matériels peuvent se comporter à leur tour comme des rayonnements. C'est la fin de la disjonction originelle matière/rayonnement, et le début de la dualité onde/corpuscule. « Il n'y a plus de sol ferme, la matière n'est plus la réalité massive élémentaire et simple à laquelle on pouvait réduire la *physis* » (Morin, p.27). Ce sont les premiers balbutiements de la Mécanique Quantique. Einstein combattra par la suite vivement cette théorie naissante qu'il a lui même contribué à fonder. Mais revenons à la riche année 1905. Cette même année, le même Einstein publie un autre article qui bouleversera le siècle à venir en devenant la théorie de la Relativité Restreinte puis Générale. La science galiléenne venait juste de se lancer dans une série d'expériences tentant de prouver sa

3 Feynman R., 1987 (traduction), *Lumière et matière*, Points Sciences, Ed. InterEditions

cohérence. Celle de Morley et Milchelson, en 1887, avait retenu l'attention d'Einstein. Ils avaient alors utilisé un instrument de leur invention, un interféromètre, pour mesurer la vitesse de l'éther, ce milieu mal définissable qui était censé emplir le vide autour de la Terre, et sur lequel les faisceaux solaires pouvaient s'accrocher et ramper. Le but était de valider la loi de composition des vitesses (celle qui nous fait dire par exemple qu'un choc frontal de deux véhicules roulant à 100km/h équivaut au choc contre un mur à 200km/h), en l'appliquant aux faisceaux de lumière solaire qui arrivent sur Terre. Selon les lois de Newton, si on tenait compte de la vitesse de rotation de la Terre sur elle même, la lumière solaire devait sembler plus rapide à un observateur se dirigeant vers l'astre qu'elle ne l'était pour un observateur s'en éloignant. L'interféromètre était si performant qu'il devait permettre une mesure au delà de la précision nécessaire à valider le résultat. Mais il s'avéra qu'aucune différence n'apparaissait entre les vitesses. Dans son article intitulé 'De l'électrodynamique des corps en mouvement', Einstein assène alors ces deux déductions phénoménologiques: la lumière transgresse les lois classiques de Newton, et l'éther en perd toute consistance. Il leur adjoint également un postulat, appelé 'principe de relativité'. Ce postulat affirme que les lois de la physique sont les mêmes dans tous les référentiels où les objets isolés (soumis à aucune force) respectent la première loi de Newton (cette loi affirme qu'un objet isolé est soit immobile, soit en mouvement rectiligne à vitesse constante). Les nouvelles lois de composition des vitesses qui découlent du principe de relativité font alors s'effondrer un concept jusqu'alors omniprésent, celui de temps absolu. Le principe de relativité implique en effet la relativité du temps: ce n'est plus un continuum inébranlable, mais une dimension malléable. En outre, au fur et à mesure qu'ils atteignent des vitesses proches de celle de la lumière, les corps en mouvement étirent le temps en rallongeant les durées. Ainsi ces objets 'vivent' un temps qui leur est 'propre'. Le paradoxe des jumeaux de Langevin illustre par la pensée ce phénomène vérifié. De deux jumeaux, dont l'un partirait dans un voyage intersidéral à la vitesse de la lumière et l'autre demeurerait sur Terre, le premier vieillirait moins vite que le second. L'interprétation relativiste est que son temps propre s'écoule moins vite que celui du frère resté à terre. Einstein conforte ainsi par sa nouvelle physique l'analyse philosophique de Bergson, pour qui le temps de la physique galiléenne n'est qu'une spatialisation discrète, au sens mathématique, là où la conscience ne perçoit qu'un flux de durées subjectives. « Comment ne pas voir que l'essence de la durée est de couler et que du stable accolé à du stable ne fera jamais rien qui dure ? »⁴

4 Bergson H., 1969, *La pensée et le mouvant*, Paris, Ed. Les Presses Universitaires de France

Les « deux brèches »

« Ainsi il y eut tout d'abord deux brèches dans le cadre épistémologique de la science classique. » (Morin, p.27).

La dualité onde/corpuscule et le principe de relativité mirent fin à deux déterminismes de la science classique. La question aurait pu sembler close, mais il n'en fut rien. « Ces principes sur lesquels nous avons bâti vont-ils s'écrouler à leur tour? Depuis quelque temps, on peut se le demander. » Voilà ce qu'écrivait déjà Poincaré en 1914⁵. En effet, les deux fissures, à y regarder de plus près, étaient de véritables brèches. « La physique allait pourtant, au début du XX^e siècle, être marquée par des bouleversements profonds, qui aboutirent à l'introduction de la mécanique relativiste et de la mécanique quantique »⁶ Car les zones noires de l'ignorance étaient bien plus profondes, « il y a de l'ignorance liée au développement de la science elle-même » (Morin, p.16). Au delà de la dérification de la matière, la dualité ondes/corpuscules pose en effet la question de la permanence du réel. Qu'est ce que le réel s'il est indéterminé, si les choses peuvent avoir plusieurs natures? Un « tapis volant »? (Morin, p.27). C'est le 'paradoxe du chat de Schrödinger'. Comment peut -il être à la fois vivant et mort? En 1922, Otto Stern et Waltehr Gerlach réalisent une expérience mettant en jeu un phénomène inexplicable par la connaissance classique: des atomes d'argent, tous parfaitement identiques, traversent ensemble un champ magnétique qui les dévie. Au lieu d'adopter un seul et même comportement, les atomes se séparent en deux flux, l'un se dirigeant d'un côté, l'autre de l'autre. Il n'y a plus de certitude quant à leur trajectoire. Seul un paramètre inconnu jusqu'alors pouvait expliquer une telle observation, et il fut proposé par la mécanique quantique. Le spin, une grandeur physique qu'elle seule prédisait, donnait une interprétation de l'expérience. On était passé de la dualité onde/corpuscule à l'indétermination du mouvement⁷. La Mécanique Quantique possède ainsi son lot d'expériences justificatrices qui la rendent irréfutable, tout du moins dans son champ d'application. Elle repose sur une vision probabiliste du monde. Ses objets sont des

5 Poincaré H., 1914, *La Valeur de la Science*, Bibliothèque de Philosophie scientifique, Paris, Ed. Flammarion

6 Cohen-Tannoudji C., Diu B., Laloe F., 1977, *Mécanique Quantique*, tome 1, Ed. Hermann

7 La dualité à proprement parler est aujourd'hui validée par l'expérience des fentes d'Young. Young la réalisa en 1801 pour prouver l'aspect ondulatoire de la lumière qui jusqu'alors n'était vue par l'optique que sous son aspect géométrique (des rayons et des faisceaux). De nos jours, la même expérience est faite avec un seul objet (électron, photon) qui se comporte simultanément comme une onde ou un corpuscule: alors qu'un seul électron ou un seul photon est émis à la fois par une source, l'image observée sur un écran est celle d'une onde. L'électron (ou le photon), indivisible, passe par les deux fentes à la fois. Il est à la fois à droite et à gauche, mort et vivant.

êtres mathématiques sophistiqués, les fonctions d'ondes, qui ne traduisent plus la tangibilité du réel, mais qui, au contraire, n'expriment que des probabilités qu'ont les choses d'être ce qu'elles sont. Dans le monde quantique, un renversement sémantique se produit: rien n'est déterminé, donc rien n'est impossible, et tout devient possible. L'effet tunnel utilisé en microscopie en est une application directe. Le cinquième axiome de la mécanique quantique va encore plus loin dans le chaos en affirmant que l'expérimentateur a un effet direct et majeur sur l'expérience qu'il réalise. Il ne mesure pas une réalité objective, mais une réalité dans laquelle il se trouve et où il joue un rôle crucial. Il cèle «l'interdépendance du sujet et de l'objet» (Morin, p.27). Pour reprendre la parabole du chat, c'est lui qui a enfermé ce pauvre animal dans une boîte et qui en détient le sort. Heureusement, des physiciens comme Murray Gell-Mann⁸ (Prix Nobel de physique en 1969 pour la découverte des quarks) ou Richard P. Feynman⁹ ont montré depuis que le principe de superposition d'états, responsable de la dualité, ne s'appliquait plus à des objets macroscopiques comme un chat. Il a beaucoup trop d'interactions avec la myriade d'objets que contient son écosystème pour que la fonction d'onde résultante ait une quelconque cohérence quantique. La tangibilité du macroscopique s'appuie sur l'inconsistance du microscopique.

La Relativité Générale quant à elle s'attache à poursuivre la déconstruction initiée par la Relativité Restreinte. Elle supprime la disjonction de l'espace et du temps pour laisser place à un continuum quadridimensionnel, l'espace-temps, modelé par la distribution de la matière et de l'énergie (Equation d'Einstein). Tout comme la Mécanique Quantique, la Relativité Générale s'est développée à partir de zones noires qui demeuraient dans la science physique du XIX^e. La première de ces zones noires, c'est ce que les astronomes appellent 'l'avance du périhélie de Mercure'. Il se trouve que cette planète, proche du Soleil, va toujours plus vite sur son orbite que ce que les calculs les plus complets ne le prédisent. L'éther avait jadis été invoqué pour expliquer cela, mais c'était avant 1905. La deuxième zone noire concernait la lumière. Selon les lois de l'optique, elle emprunte toujours le chemin le plus court pour aller d'un point à un autre (principe de Fermat, dérivable des équations de Maxwell). Mais si l'on observe attentivement le mouvement dans le ciel d'une étoile, on s'aperçoit que lorsqu'elle passe derrière le soleil, sa course se met à ralentir, juste avant que l'étoile ne soit masquée par l'astre de feu. Elle suspend son vol, comme le temps de Lamartine. Ce n'est pas une illusion optique. Tout se passe comme si les faisceaux lumineux en provenance de l'étoile étaient courbés au fur et à mesure qu'ils s'approchent du Soleil. La Relativité Générale

8 Gell-Mann M., 1994 (1ère édition), 1997 (traduction), *Le quark et le jaguar*, Champs, Paris, Ed. Flammarion

9 Feynman R., 1980, *La Nature de la physique*, Points Sciences, Paris, Ed. Seuil

interprète ces phénomènes grâce à la courbure de l'espace-temps engendrée par la masse du Soleil. L'astre est suffisamment massif pour déformer le temps en rallongeant les durées. Ainsi, Mercure et les faisceaux stellaires profitent de ces secondes plus longues qu'ailleurs pour parcourir plus de distance. Beauté de la théorie, le principe de Fermat garde sa validité, car la lumière continue d'emprunter le chemin le plus court, mais en termes de durée plutôt que de distance. La Relativité Générale a depuis été confirmée par de nombreuses observations, comme l'existence des trous noirs, ces soleils ogres tellement lourds qu'ils étirent l'espace-temps jusqu'à le déchirer. Si les jumeaux de Langevin habitaient autour d'un trou noir, le frère voyageur plongerait de plus en plus vite vers cet astre noir, jusqu'à en devenir lumière et disparaître dans ... la Relativité Générale ne le dit pas, mais Hawking propose un scénario: ... la masse du trou augmenterait, mais, finalement, l'énergie équivalent à cette masse supplémentaire retournerait dans l'univers sous forme de rayonnement. Ainsi, en un sens, l'astronaute serait-il « recyclé ». Ce serait une bien pauvre sorte d'immortalité, cependant, parce que tout concept personnel de temps, pour lui, serait très certainement arrivé à son terme au moment même où il aurait été déchiré à l'intérieur du trou noir! »¹⁰. L'autre ne saurait vivre assez longtemps pour suivre le périple de son frère au télescope. Il le verrait entrer en orbite autour du trou noir, de plus en plus près mais sans jamais l'atteindre, indéfiniment jusqu'à la fin des temps.

Ainsi, Mécanique Quantique et Relativité Générale ont éclairci les zones noires du XIX^e siècle en mettant fin à la dictature du paradigme de simplicité. L'espace et le temps y ont perdu leur nature transcendante, la matière et l'énergie leur réalité, et le déterminisme sa nécessité. Dieu en arrive même à la question « les atomes existent-ils vraiment? »¹¹ Les mathématiques viendront très vite en appui à ces deux théorisations physiques.

La faille mathématique

Les mathématiques reposent sur des 'systèmes axiomatiques'. Ce sont à la fois des corpus théoriques d'axiomes, définitions et théorèmes, et des cadres logiques issus de la théorie des modèles, de la théorie des ensembles, de la théorie de la calculabilité et de la théorie de la démonstration. Ces systèmes axiomatiques se veulent consistants, complets et cohérents, c'est à dire:

- sans contradiction, avec par exemple une proposition qui serait à la fois vraie et fausse (la consistance),

¹⁰ Hawking S., 1989 (traduction), *Une brève histoire du temps*, Champs, Paris, Ed. Flammarion

¹¹ Diu B., 1997, *Les atomes existent-ils vraiment?*, Paris, Ed. Odile Jacob

- sans possibilité d'extension en un système plus grand qui préserverait encore la consistance, (la complétude),
- et capables d'énoncer et de prouver leur propre portée ou champ d'application (la cohérence)

Or en 1931 le mathématicien et logicien autrichien Kurt Gödel (1906-1978) publie deux théorèmes qui vont détruire le statut paradigmatique de philosophie ultime de la Vérité que détenait 'La Mathématique'. La prétention de cohérence de l'Arithmétique (second problème de Hilbert) est balayée. Kurt Gödel démontre dans son premier théorème que tout système axiomatique héberge en son sein des 'indécidables', des propositions ni vraies ni fausses. Elles annihilent toute prétention de consistance. En corollaire, la complétude devient absurde car, sans consistance, elle ne peut être atteinte. Qui plus est, ces indécidables sont comme des fantômes. Tantôt ils errent dans les arcanes d'un système axiomatique, tantôt ils se matérialisent ici en des assertions vraies, et là en des assertions fausses. La descente dans l'incertain se poursuit avec le second théorème. Il affirme simultanément que tout système axiomatique comporte certes un énoncé de sa cohérence, mais aussi que cet énoncé est justement un indécidable. Ainsi s'en va la cohérence. Il existe en théorie des ensembles un exemple célèbre de la non cohérence. Imaginez des ensembles, qui se croisent, se contiennent, s'excluent, comme vous voulez. Puis un ensemble qui les contient tous. Puis d'autres ensembles, etc, etc ... jusqu'à un ensemble ultime, l'ensemble de tous les ensembles. L'indécidabilité réside dans cette simple question: cet ensemble ultime de tous les ensembles, se contient-il lui-même?

Les abysses du nouveau millénaire.

Tout comme le siècle des Lumières, le XX^e siècle possède sa part d'ombres. Il s'accroche lui aussi à ses théories, qu'elles soient quantiques ou générales. La grande unification est toujours un Graal, malgré les abysses insondables qui surgissent de toutes parts. « Si nous trouvons la réponse à cette question, ce sera le triomphe ultime de la raison humaine – à ce moment, nous connaissons la pensée de Dieu. »¹²

Il y a tout d'abord l'abysse épistémologique: Relativité Générale et Mécanique Quantique sont, en l'état actuel, mathématiquement incompatibles. Rien n'y fait, il faut choisir entre l'une ou l'autre pour calculer, et les tentatives demeurent partielles. C'est le cas par exemple de la théorie de la

12 Hawking S., 1989 (traduction), *Une brève histoire du temps*, Champs, Paris, Ed. Flammarion
voir aussi: Hawking S., Penrose R., 1997 (traduction), *La nature de l'espace et du temps*, folio essais, Paris, Ed. Gallimard

Gravité quantique à boucles, qui aboutit en particulier à la discrétisation de l'espace¹³.

Mais il y a surtout l'abysse phénoménologique: le cosmos contient des choses dont on ignore tout, jusqu'à leur nature même. Personne ne les imagine vraiment, on en voit juste les effets gravitationnels dans l'univers. Ces choses sont largement plus répandues que tout ce que la Physique Standard, toujours à la recherche du boson de Higgs et du graviton, prévoit. La science du XX^e siècle leur donne juste des doux noms aux consonances 'StarWariennes': 'matière noire' et 'énergie du vide'. Des théories nouvelles tentent à ce jour de les interpréter; les théories des supercordes ou M, dans lesquelles les objets sont des cordes ou des membranes vibrantes dans des espaces aux multiples dimensions (jusqu'à 13!), la théorie holographique, qui considère notre univers comme la projection d'une surface quantique, et où la gravité ne serait qu'un leurre brouillant le système ... Rien n'est pour le moment vraiment admis unanimement par la communauté scientifique. Les physiciens se heurtent sans cesse aux limites des cadres mathématiques utilisés, où le zéro et l'infini ne cessent de jouer les trouble-fête. C'est « Le mur de Planck!. Sa seule évocation fait frémir les théoriciens. C'est la frontière noire de la connaissance, une barrière terrible, que personne n'a encore franchie jusqu'ici. »¹⁴

Et il y a enfin un abysse encore plus grand, l'abysse pragmatique. Dans ses effets, la science a donné le meilleur comme le pire. Outre à la guerre, la science a conduit l'Humanité dans des crises: écologique, économique, politique. « la mutilation tranche dans la chair, verse le sang, répand la souffrance. » (Morin, P.20). Ainsi, « nous sommes contraints de voir qu'*homo sapiens* est *homo demens*. »¹⁵

Salvador Dali



13 Cette théorie est essentiellement développée par Les Smolin et Carlo Rovelli. En collaboration avec Connes qui a travaillé sur les algèbres non commutatives de von Neumann, Rovelli conclut aussi à l'émergence du temps à partir de la thermodynamique statistique.

Voir: Rovelli C., 2006, *Qu'est-ce que le temps? Qu'est-ce que l'espace?*, Ed. Bernard Gilson
Smolin L., 2000, *Three roads to quantum gravity*, Londres, Ed. Weidenfeld & Nicholson

14 Bogdanov I. & G., 2004, *Avant le Big Bang*, Paris, Ed. Grasset

15 Morin E., 1979, *Le Paradigme perdu: la nature humaine*, Points-Essais, Paris, Ed. Seuil

CADRES THÉORIQUES

Les théories scientifiques, quelle que soit leur époque, interprètent le réel. L'observation empirique ou expérimentale des phénomènes du monde est traduite par un cadre logique et formel qui autorise les mesures et les prédictions. Pour Morin, cette théorisation procède suivant le 'principe de simplicité': disjonctions des cas, réduction à des catégories, généralisation et abstraction. Elle écarte de son champ tout ce qui pourrait lui nuire, elle occulte ses propres zones noires. Morin nuance lui-même cet avis: « J'ai omis de montrer comment, et en dépit de son idéal simplificateur, la science a progressé parce qu'elle était en fait complexe » (Morin, p.139). La vérité scientifique repose en effet aussi sur le premier principe de Descartes: l'esprit critique. Dans une vision historique de la science, depuis les premiers calculs mathématiques des sumériens aux équations d'aujourd'hui, l'avancée des théories montre même un mouvement d'ensemble vers la complexité. Les théories se succèdent les unes aux autres en s'englobant, en élargissant sans cesse leur portée, en intégrant de mieux en mieux la diversité phénoménologique. « les principes bien établis, les lois bien vérifiées, sont conservés, mais ils ne peuvent être considérés comme valables qu'à titre d'approximations pour certaines catégories de faits. » écrivait De Broglie en 1937¹⁶. Le XX^e siècle en arrive même à appréhender l'aléa et le chaos. « Là où commence le chaos s'arrête la science classique. »¹⁷

Il n'en reste pas moins qu'aujourd'hui les sciences sont toujours cloisonnées. Pourtant les dynamiques phénoménologiques, en particulier celles observées par la biologie et l'anthropologie, reposent sur un socle commun, une dialectique déterminations/aléas. Les systèmes vivants en sont une illustration parfaite. Morin les appelle '*les systèmes auto-éco-organisés*'. Gell-Mann, dans '*le quark et le jaguar*'¹⁸, préfère l'expression '*systèmes adaptatifs complexes*'. Les êtres vivants fondent leur fonctionnement sur le hasard de la vie, sur les déséquilibres des relations, sur les indéterminismes des phénomènes: « on voit que dans un organisme, les molécules, comme les cellules, meurent et se renouvellent, à ce point qu'un organisme reste identique à lui-même bien que tous ses constituants se soient renouvelés » (Morin, p.44). Ordre et chaos sont les deux visages d'un dieu Pan devenu Janus. C'est ce qui constitue pour Morin, au-delà des brèches physiques ou philosophiques, le principal argument pour affirmer la nécessité d'une théorie de la complexité.

16 De Broglie L., 1937, *La physique nouvelle et les quanta*, Bibliothèque de Philosophie scientifique, Paris, Ed. Flammarion

17 Gleick J., 1991 (traduction), *La théorie du chaos*, Champs, Paris, Ed. Flammarion

18 Gell-Mann M., 1994 (1ère édition), 1997 (traduction), *Le quark et le jaguar*, Champs, Paris, Ed. Flammarion

Mais contrairement à Berthoz, Morin n'aborde que très peu la biologie dans son enquête exploratoire des cadres théoriques. Il reste surtout dans un cadre physique et philosophique.

Cybernétique et théorie des systèmes.

Les sciences physiques et la logique mathématique conjuguent leurs efforts dans la cybernétique. C'est le monde technologique et utopique des robots d'Isaac Asimov et du non A d'Alfred Elton van Vogt. On est passé en quelques décennies de l'électricité et l'optique à l'opto-électronique quantique, de la logique formelle à l'intelligence artificielle, des machines de Turing aux processeurs neuronaux, de l'algorithme à la programmation-orientée-objets. La cybernétique développe une intégration systémique de composants physiques et biologiques de plus en plus aptes à reproduire le comportement du vivant. Le fonctionnement de ces machines repose sur un langage primitif, binaire, constitué de quelques mots. Ce langage binaire est ensuite assemblé en langages plus complexes qui autorisent une communication plus aisée entre l'homme et l'ordinateur. L'information, en langage binaire, code aussi bien des données, que des actions, que des résultats: « un programme porteur d'informations ne fait pas que communiquer un message à un ordinateur, il lui ordonne un certain nombre d'opérations. » (Morin, p.35). Certains systèmes en intelligence artificielle sont même programmés pour apprendre, c'est à dire produire des résultats adaptés aux situations qui leur sont présentées.

Au bout de la cybernétique on trouve l'émergence d'une théorie générale des systèmes aux contours flous, mais qui permet d'ores et déjà une analyse phénoménologique non réductionniste de la complexité. Cependant, la Théorie des Systèmes, comme toutes les théories scientifiques nouvellement formalisées ont eu à le faire, devra encore intégrer toutes les autres théories dont elle recouvre les champs. Par la prise en compte des phénomènes associatifs et organisationnels au sein même de la complexité, elle a le potentiel d'englober les sciences physiques, biologiques et sociales. Elle peut être « d'une ampleur qui s'étend à tout le connaissable ». La Théorie Générale des Systèmes est un concept initialement développé en biologie par von Bertalanffy¹⁹ à partir de 1928. Alfred Kuhn en propose plus tard un cadre formel basé sur les relations entre les objets. Comme dans tout corpus théorique, il a besoin pour cela de prémisses, c'est à dire de notions et de concepts indéfinis.. Ces indéterminations essentielles sont indispensables avant de pouvoir définir un

19 von Bertalanffy L., 1968, *General system theory: foundations, développements, applications*, New-York, Ed. Braziller

formalisme susceptible d'encadrer des raisonnements déducto-logiques. Ainsi Kuhn²⁰ définit 'les éléments' comme tout ce qui est identifiable en tant qu'entité, et les 'patterns' comme toute relation entre deux ou plusieurs éléments. Il postule ensuite l'existence d'un temps et d'un réel en définissant un 'objet' comme un pattern existant à un moment donné, et un 'événement' comme un changement de pattern. Enfin, le 'système' est un pattern suffisamment structuré pour justifier l'intérêt du chercheur.

La Théorie des Systèmes s'est développée parallèlement à la Théorie du Chaos. L'effet papillon est le phénomène le plus vulgarisé de cette autre théorie. Mandelbrot en est l'un des fondateurs. Il dégage une caractéristique nouvelle de la complexité en définissant la *fractalité*, (le principe hologrammatique de Morin), qui voit dans les parties l'image du tout. Il prend pour exemple la côte de Bretagne: sa forme à petite échelle, vue, par exemple, au ras des rochers au bord de l'eau, est semblable à sa forme vue du ciel. C'est sa régularité fractale. On retrouve cette dimension fractale dans presque toutes les formes réelles, le vivant en premier chef. Zadeh²¹ axiomatise quant à lui le concept d'ensembles flous, les '*fuzzy sets*', surtout utilisés dans un cadre anthropologique. Le déterminisme y est d'abord une question de jugement subjectif, la complexité des relations sociales venant fortement les inférer.

Approche thermodynamique.

La vision close du système thermodynamique est dès ses origines adossée à une formulation plus dynamique et élargie à un système pouvant également échanger de la matière avec l'extérieur. Par exemple, « le cerveau est continuellement en train d'échanger de l'énergie et de l'information avec le monde extérieur. »²² C'est le concept de système ouvert, représentable par un volume de contrôle traversé par les flux de matière et de chaleur. Avec le système ouvert, non isolé, la notion d'équilibre, centrale pour les systèmes clos, n'est plus qu'un cas très particulier de la notion de régime stationnaire. La thermodynamique ne conduit plus exclusivement à de la statique, elle autorise aussi des états certes stables mais qui demeurent pris dans un processus dynamique plus global d'interactions et de déséquilibres. « Deux conséquences capitales découlent donc de l'idée de système ouvert: la première est que les lois d'organisation du vivant ne sont pas d'équilibre, mais de déséquilibre, rattrapé ou compensé, de dynamisme stabilisé... La seconde conséquence, peut-être

20Kuhn A, 1974, *The logic of social systems*, San Francisco, Ed. Jossey-Bass

21 Zadeh, Fay, 1998, *My Life and Travels with the Father of Fuzzy Logic*, Albuquerque, Ed. TSI Press

22 Changeux J-P., 2002, *L'Homme de vérité*, Paris, Ed. Odile Jacob

plus majeure encore, est que l'intelligibilité du système doit être trouvée, non seulement dans le système lui-même, mais aussi dans sa relation avec l'environnement,... » (Morin, p.31)

Les systèmes ouverts présentent en outre très souvent une propriété aux conséquences philosophiques intéressantes, l'irréversibilité. Un système ouvert est très généralement le siège de phénomènes irréversibles qui font que les choses ne peuvent être défaites. Cette irréversibilité se traduit mathématiquement par l'ajout d'un terme de création δS_i positif (nul s'il y a réversibilité) dans l'équation du second principe de la thermodynamique qui devient $dS = \delta Q/T + \delta S_i$. Ainsi pour un système ouvert, l'entropie ne peut que croître sous l'effet des phénomènes irréversibles. Elle fait apparaître un sens dans la chronologie des phénomènes, elle crée la flèche du temps. Mieux, « elle confère une signification physique fondamentale à la flèche du temps sans laquelle nous sommes incapables de comprendre les deux caractères principaux de la nature: son unité et sa diversité. »²³ L'information que l'entropie représente ajoute à la simple énumération initiale des états possibles une prise en compte de leur évolution. L'information devient dynamique.

L'information et l'organisation

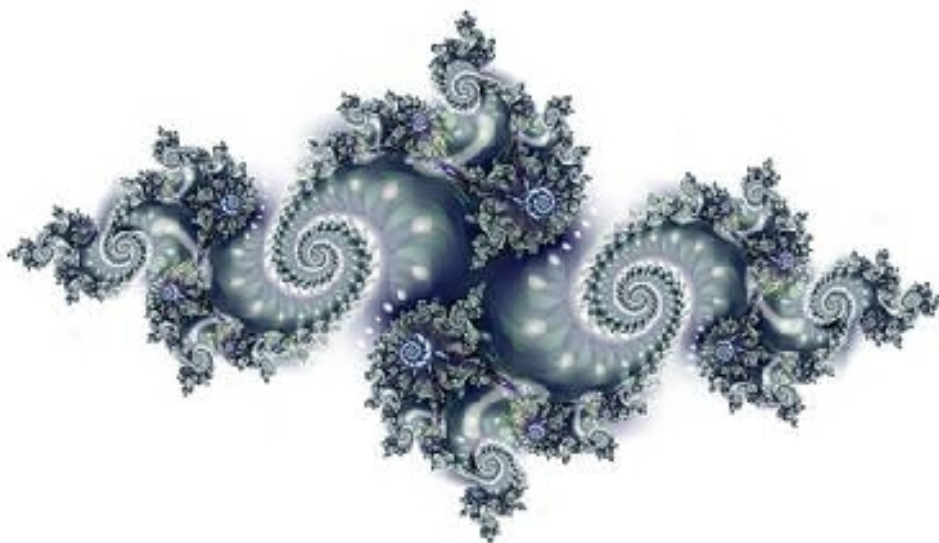
La thermodynamique et la cybernétique reposent donc toutes deux sur un dilemme entre complexité et simplicité, ordre et chaos. Elles confèrent à l'information un rôle central. Elles extirpent des systèmes un petit nombre de paramètres descriptifs et de lois qui suffisent pour faire émerger plusieurs faciès de l'information. La cybernétique souligne son caractère opérationnel: un message binaire peut être interprété comme un ordre d'actions. L'information contribue alors à la dynamique, et donc à la structuration du système. La thermodynamique des systèmes a quant à elle entrouvert la porte de la vie. Le système ne peut plus être pensé comme isolé du reste du monde, et l'information ne se circonscrit plus à lui, elle s'étale de toutes parts.

Déjà dans l'équation de Shannon $H = -k \cdot \ln W$, l'information H apparaît comme le pendant de l'entropie, de la 'néguentropie' dira Morin'. Là où l'entropie mesure le désordre, la néguentropie mesure l'ordre. De façon similaire, dans les théories du traitement des signaux, l'information est répartie entre signal utile et bruit. Le terme de néguentropie est certainement inadéquat et Morin y renoncera: « Du reste, le mot néguentropie disparaît quasi de la suite de mes écrits, car je ne le juge pas tellement utile; » (Morin, p144). Il sous-entend en effet que l'information et l'entropie sont deux grandeurs opposées, ce qui est faux. L'information est au delà du désordre et du chaos.

²³ Prigogine I., 1996, *La fin des certitudes*, Paris, Ed. Odile Jacob.

Voir aussi: Prigogine & all, 2001, *L'homme devant l'incertain*, Paris, Ed. Odile Jacob

« L'information est donc un concept qui établit le lien avec la physique tout en étant le concept fondamental inconnu de la physique. Il est inséparable de l'organisation et de la complexité biologique. » (Morin, p.37). L'organisation est une notion encore plus floue, « à peine entrevue » (Morin, p.39). En mathématiques, l'organisation des ensembles est étudiée depuis fort longtemps en Algèbre et en Topologie. Là encore, les structures sont décrites par des lois et des propriétés qui constituent une information théorique décrivant justement l'organisation. L'information apparaît donc comme un contenant universel, et je défendrais donc la thèse que la connaissance y est incluse, localisée dans la pensée humaine. L'ordre et le chaos en sont deux dimensions. Les systèmes y oscillent entre deux états propres aporétiques: le bruit et le système auto-éco-organisé. Les frères Bogdanov vont même jusqu'à concevoir une information originelle, précédant l'univers dans un temps imaginaire, et le prédéterminant. C'est ce qu'ils nomment « l'instanton gravitationnel singulier de taille zéro... A elle seule, cette configuration primordiale, à la fois infiniment simple et infiniment complexe, contient, du zéro à l'infini, toute l'information du grand Univers. »²⁴.



Ensemble de Julia

24 Bogdanov I. & G., 2004, *Avant le Big Bang*, Paris, Ed. Grasset

COMPLEXITÉ ET SIMPLEXITÉ

Les systèmes vivants: auto-éco-organisés.

De la Physique à la Biologie, il n'y a qu'un pas. En effet, les organismes vivants sont à la fois des systèmes thermodynamiques ouverts et des machines cybernétiques idéelles. Mais la complexité du vivant dépasse l'entendement physique. L'information ne s'y réduit pas au génome, ou à un simple jeu de lois agissant sur des paramètres. Bien au contraire. L'état du système lui-même, où l'organisation ne cesse de croître, semble échapper au second principe de la thermodynamique. Deux propriétés supplémentaires sous-tendent l'harmonieuse complexité du vivant. Premier point, un système vivant, à l'opposé d'une machine, assure de façon autonome son bon fonctionnement. L'information qu'il recèle régit à la fois un renouvellement incessant de ses composants moléculaires ou cellulaires et le maintien, temporellement relatif, de son intégrité physique et biologique. La mort interne est la condition *sine qua non* de la vie. L'accroissement entropique y permet l'auto-organisation. L'organisme vivant passe ainsi d'objet de la *physis* à sujet, autonome, complexe et incertain. « Cela ne montre pas seulement la différence de nature, de logique entre les systèmes auto-organisés et les autres, cela montre qu'il y a aussi un lien consubstantiel entre désorganisation et organisation complexe,... » (Morin, p.44). Deuxième point, un système vivant est ouvert sur un milieu nettement plus vaste que celui de la Physique. C'est tout un éco-système dans lequel il baigne et avec lequel il interagit. Les relations sont si prégnantes que la frontière entre l'intérieur et l'extérieur s'estompe, dévoilant des systèmes vivants interconnectés, co-évolutifs, intrinsèquement unis à leur environnement. Encore un pas en avant, et la Biologie ouvre le champ de l'Anthropologie, l'Homme. Sujet hyper-complexe par excellence. Son auto-éco-organisation est paroxysmale. Elle aboutit à la pensée, à la conscience de soi et à l'angoisse existentielle. Le cerveau humain en est le régisseur. Non seulement il traite l'information en provenance des mondes extérieurs et intérieurs, mais aussi il « se comporte comme un système autonome qui projette en permanence de l'information en direction du monde extérieur au lieu de recevoir passivement son empreinte »²⁵. Le cerveau soumet en permanence ses représentations internes à la critique objective. Il voit le monde à sa façon, et tente de convaincre ses semblables de la validité de ses modèles. Il crée le monde. « Le monde est présent à l'intérieur de notre esprit, lequel est à l'intérieur de notre

25 Berthoz A., 1997, *Le sens du mouvement*, Paris, Ed. Odile Jacob

monde. » (Morin, p.117)

Nécessité d'une « Sienza nuova »

Une théorie de la complexité doit pour le moins rendre compte de ces phénomènes d'auto-éco-organisation. Elle doit pouvoir intégrer les brèches apparentes de la physique ou des mathématiques, tout en autorisant les contradictions internes, les incertitudes. Tout comme les systèmes vivants, elle doit être capable de porter en elle des vérités périssables. Tout comme les êtres humains, elle doit pouvoir se dire elle-même. C'est une méta-théorie qui devra rétablir l'unité des savoirs, de la Physique à l'Anthropologie en passant par la Biologie. C'est un changement paradigmatique qu'il faut opérer, car « c'est toute la structure du système de pensée qui se trouve bouleversée, transformée, c'est toute une énorme superstructure d'idées qui s'effondre. Voilà à quoi il faut s'apprêter. » (Morin, p.76). Berthoz débute son ouvrage sur le même constat: il faut « un nouveau concept: celui de simplexité... Aucun domaine n'y échappe » (Berthoz, p.7-8)

Les définitions

Pour Morin, la complexité du monde est fondée en premier lieu sur sa multiplicité, la diversité des objets et des relations. « c'est un phénomène quantitatif, l'extrême quantité d'interactions et d'interférences entre un très grand nombre d'unités. » (Morin, p.48). La complexité morinienne ne prétend pas à la complétude au sens mathématique. Au contraire, elle est fondée, en second lieu, sur l'aléa et l'indétermination. « La complexité, dans un sens, a toujours affaire avec le hasard » (Morin, p.49).

Sous le terme 'simplexité', Berthoz désigne « l'une des plus remarquables inventions du vivant, qui s'applique à de nombreux niveaux d'activité humaine, de la molécule à la pensée, de l'individu à l'intersubjectivité, et ce jusqu'à la conscience et l'amour. » (Berthoz, p.7). Son origine est biologique: « malgré la complexité des processus naturels, le cerveau doit trouver des solutions, et ces solutions relèvent de principes simplificateurs » (Berthoz, p.17). « La simplexité est cette complexité déchiffrable, car fondée sur une riche combinaison de règles simples. » (Berthoz, p.12).

Les deux auteurs semblent donc définir deux notions qui ne coïncident qu'en partie sur la prise en compte du réel: là où Morin souligne l'incertitude des relations, Berthoz révèle la limitation de la pensée. Morin situe lui aussi le simple à l'intérieur du complexe, mais il en dégage d'abord une « ouverture sur l'inconcevable » (Morin, p.137). Les règles ne viennent qu'après. Pour Berthoz, la simplexité est avant tout une solution trouvée par le vivant pour s'organiser.

Les principes

La discrimination des points de vue des deux auteurs est encore plus 'complexe' si on envisage maintenant les principes qu'ils postulent.

Morin distingue trois principes, très complémentaires.

« *Le principe dialogique* » consiste à ne pas réduire les antagonismes à de simples oppositions, mais plutôt à en dégager des principes de complémentarité, qui absorbent les contradictions apparentes. Il s'exprime en premier lieu par la dualité de l'ordre et du désordre. L'exemple de Morin est celui du maintien de la forme et de la survie des systèmes vivants grâce à la mort cellulaire et à l'information codée par l'ADN. « L'ordre et le désordre sont deux ennemis: l'un supprime l'autre, mais en même temps, dans certains cas, ils collaborent et produisent de l'organisation et de la complexité. Le principe dialogique nous permet de maintenir la dualité au sein de l'unité. Il associe deux termes à la fois antagonistes et complémentaires. » (Morin, p.99).

« *Le principe de récursivité* ». Il rompt la linéarité du déterminisme en liant causes et effets dans un même cycle. Il est fortement inspiré des boucles de contre-réaction utilisées en électronique analogique. Il assure l'autorégulation adaptative des systèmes complexes. L'exemple de Morin est celui d'un tourbillon dans un cours d'eau.

« *Le principe « hologrammatique* » unifie le tout et ses parties, en les situant l'un dans l'autre. Il étend la récursivité en la rendant constitutive du système. C'est ce que Mandelbrot appelle la fractalité: « Fractal. Sens intuitif. Se dit d'une figure géométrique ou d'un objet naturel qui combine les caractéristiques que voici. A) Ses parties ont la même forme ou structure que le tout,...B) Sa forme est, soit extrêmement irrégulière, soit extrêmement interrompue ou fragmentée, et le reste, quelle que soit l'échelle d'examen. C) Il contient des "éléments distinctifs" ... »²⁶.

Le principe de subjectivité. Morin ajoute un dernier principe, qui n'est pas sans rappeler le cinquième postulat de la mécanique quantique: « la pensée de la complexité a besoin de l'intégration de l'observateur et du concepteur dans son observation et sa conception. » (Morin, p.102).

Berthoz propose quant à lui des principes plus techniques, fruits de sa compréhension du cerveau humain.

« *L'inhibition et le principe de refus* ». La complexité procure d'innombrables possibilités de fonctionnement que le cerveau, par souci d'économie, doit trier en supprimant l'inutile. L'inhibition

26 Mandelbrot B., 1989 (3ième édition), *Les objets fractals*, Nouvelle Bibliothèque Scientifique, Lonrai, Ed. Flammarion

« permet la compétition et, donc, la décision, la plasticité, la stabilité. Elle est utilisée dans le cerveau pour accroître la rapidité, pour faire une sélection, un choix dans la complexité des éléments que contient un phénomène, un acte, une situation, qu'ils concernent nos relations avec l'environnement ou les mécanismes de notre pensée; » (Berthoz, p.26).

« *L'Umwelt, le principe de la spécialisation et de la sélection* ». Chaque espèce, chaque individu, ne retient, par capacité ou par choix, qu'un certain nombre d'informations sur son milieu environnant. Son monde, son Umwelt, est une réalité non complète: « un organisme vivant auto-organisateur, autonome, projette sur le monde ses intentions et ses hypothèses. Dans cette opération, notre cerveau est plus comparateur et émulateur que simple traiteur d'informations. » (Berthoz, p.27). Tout comme l'inhibition, la sélection a besoin d'une importante quantité de matière pour y effectuer ses choix. Cette « matière à pensée »²⁷ tire sa diversité du chaos sous-jacent, de cette agitation incessante du microcosme qui impulse la dynamique des macro systèmes. Par exemple, « les divers mécanismes de transmission de l'information dans le système nerveux sont eux-mêmes réglés par l'activité spontanée et/ou évoquée, dont ils sont les médiateurs »²⁸.

« *Le principe d'anticipation probabiliste* ». Les circuits neuronaux utilisés par le cerveau pour se souvenir coïncident en grande partie avec ceux utilisés pour anticiper ou imaginer des événements. Cette prédiction repose sur des calculs probabilistes conduisant à des estimations de risques ou de chances. Ce principe est très proche de l'indétermination quantique: « la complexité s'accommode de l'incertitude, ce qui n'est pas simple. » (Berthoz, p.28).

« *Le principe du détour* ». Pour arriver à des processus efficaces, rapides et simples à contrôler, le cerveau, et plus généralement les organismes vivants, découpent les systèmes en fonctions élémentaires 'simples' qui sont assurées par des sous systèmes qui restent complexes. La simplicité fonctionnelle s'appuie ainsi sur des noyaux complexes. Cela est aussi bien vrai pour le biologique qu'aujourd'hui pour le technologique. Berthoz donne l'exemple du chirurgien qui, aujourd'hui, accomplit des gestes simples, mais complètement assistés par ordinateur. Il n'intervient plus directement sur son patient, mais sur une image virtuelle avec des instruments virtuels commandant des robots. Ce principe de détour est une des nombreuses solutions élégantes trouvées par le vivant. Au chapitre 5, Berthoz le complète par « *le principe de raccourci* », qui est en jeu lorsque le cerveau doit être encore plus rapide. Alors il ne suit plus les règles de fonctionnement normal (par

27 Changeux J-P, Connes A., 1989, *Matière à pensée*, Paris, Ed. Odile Jacob

voir aussi: Connes A., Lichnerowicz A., Schützenberger M.P., 2000, *Triangle de pensées*, Paris, Ed. Odile Jacob

28 Changeux J-P., 2002, *L'Homme de vérité*, Paris, Ed. Odile Jacob

exemple dans des situations d'urgence). Il s'appuie dans ce fonctionnement sur un principe de résonance, qui lui permet de très vite rapprocher l'image perçue du monde de représentations internes qui ont déjà opéré avec succès.

« *Le principe de la coopération et de la redondance* ». On retrouve là le principe hologrammatique de Morin: les représentations du monde par un même organisme sont multiples, différentes et complémentaires. Elles sont synthétisées grâce à la coopération entre les différents sous systèmes, dans un objectif encore une fois d'efficacité, de détection rapide des stimuli importants, de cohérence entre les informations. « Par le détour de deux perspectives et la capacité de travailler avec les deux en parallèles, nous pouvons simplifier ... »

« *Le principe du sens*. ». C'est pour Berthoz un principe fondateur, qui s'écarte des principes fonctionnels précédents. Pour lui, tout s'organise autour de l'action. « Élaborer une théorie de la simplicité, c'est donc aussi élaborer une théorie du sens, en redéfinissant ce terme, en lui restituant pour fondement l'acte possible intentionnel ou l'acte désiré. » (Berthoz, p.35)

Pour les deux auteurs, la finalité qu'est l'action, dans toutes ses dimensions inter et intra subjectives, oriente la dialogique. C'est elle qui définit un sens au sein même de la complexité, le dialogue entre le chaos et l'ordre strict. Elle lie le sujet pensant à l'objet, elle relie tous les systèmes du monde, elle crée le monde. « L'action est le royaume concret et parfois vital de la complexité » (Morin, p.108). De Rosnay, l'un des membres du 'Groupe des Dix' fondé dans les années 1960 en France pour réfléchir à la complexité et ses approches théoriques (Morin en faisait également partie), ajoute: « Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisés en fonction d'une finalité. Cette finalité est le maintien de la structure du système. »²⁹

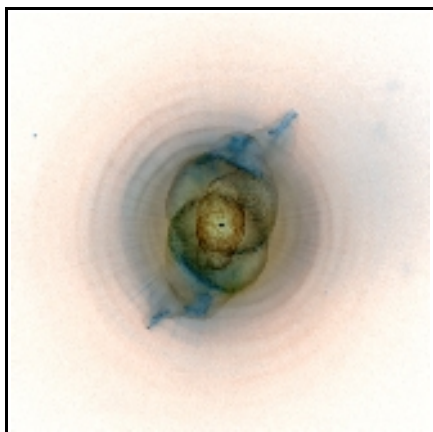


Image Hubble 2004 09 09

²⁹ De Rosnay J., 1995, *L'homme symbiotique*, Paris, Ed. Seuil

LES EXEMPLES:

Pour Morin, tout phénomène peut et doit être envisagé à l'aune d'une pensée complexe. Il ne s'agit nullement de sombrer dans le holisme, mais d'adopter un nouveau paradigme intégrant la dialogique du chaos et de l'organisation. Il illustre cette façon de penser avec quelques thèmes: l'action humaine, l'évolution de la Société, le travail au sein de l'entreprise, et enfin son propre cheminement intellectuel qui l'a conduit à l'élaboration de sa théorie de la pensée complexe. Berthoz fait de même, en détaillant certains des fonctionnements de l'Homme: Le regard et l'empathie, l'attention, la locomotion, la perception de l'espace physique, la carte neurobiologique fonctionnelle du cortex. Je ne développerai pas ces exemples et aborderai plutôt des exemples en rapport avec le mémoire. Il s'agira d'abord de trois thèmes demandés: la fiche de lecture sur un troisième ouvrage: la thèse de doctorat de Nicolas Balacheff (université Joseph Fourier, Grenoble 1, Institut National Polytechnique de Grenoble) sur la preuve en mathématiques, la complexité dans mon sujet de mémoire 'Validation de connaissances, processus comparés en mathématiques et en anglais au collège', et enfin la complexité dans mon parcours d'étudiant en master. En annexe, je présente une introduction à une théorisation plus personnelle de la complexité. Elle repose sur la notion mathématique d'hypergraphe. Le cadre mathématique, proche de celui de la théorie des systèmes, sera rapidement abordé pour laisser place à des considérations plus philosophiques.

Une étude des processus de preuve en mathématiques chez des élèves de collège, par Balacheff³⁰

Ce mémoire de doctorat propose une approche expérimentale du processus de validation d'une connaissance en mathématiques. La question est plus généralement étudiée en épistémologie des sciences 'dures', avec les travaux fondateurs de Popper³¹ puis de Lakatos³². Pour ces auteurs référents, les théories scientifiques pourraient sembler ne pas être justifiées car elles s'appuient sur l'empirisme. Il n'y a pas de certitudes, ni même de vérification avec certitude. Une théorie scientifique gagne alors en valeur lorsqu'elle est potentiellement réfutable. La réfutabilité devient un critère de validité. Dans cet esprit, mieux vaut prouver des contraposées. Une théorie demeure alors

30 Balacheff N., *Une étude des processus de preuve en mathématiques chez les élèves de collège*, Thèse de Doctorat de l'Université J. Fourier Grenoble 1 et de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, Février 1988, Président J.P. Bertrandias

31 Popper K., 1999 (traduction), *Les deux problèmes fondamentaux de la théorie de la connaissance*, Ed. Hermann

32 Lakatos I., 1984 (traduction), *Preuves et réfutations*, Ed. Hermann]

non prouvable, elle est juste éventuellement non invalidée, jusqu'à preuve du contraire.

Balacheff, après la description de son cadre théorique, établit d'abord une échelle graduelle des preuves utilisées en mathématiques: trois degrés de preuves pragmatiques (l'empirisme naïf, l'expérience cruciale et l'exemple générique), et deux degrés de preuves intellectuelles (l'expérience mentale et la démonstration formelle). Ces preuves sont évoquées directement par les élèves, ou indirectement via des contre-exemples. Un processus global de validation articule ainsi ces types de preuves. En mathématiques, une orientation de l'échelle, du pragmatisme en direction de la démonstration, est créée par la guidance didactique de l'enseignant. Cette échelle qui semble *a priori* discrète est en réalité soumise à plusieurs indéterminismes. Premier indéterminisme, les degrés ne sont dans la pratique pas disjoints. Une preuve concrète verbale exprimée par un élève peut parfois relever de deux degrés consécutifs. La nature de la preuve est ainsi soumise à l'interprétation de l'observateur. Deuxième source d'incertitude, des arguments d'autorité peuvent interférer. Enfin, il y a « trois pôles qui interagissent fortement: le pôle des connaissances, le pôle langagier, ou de la formulation, et le pôle de la validation, ou des types de rationalité qui soutiennent les preuves produites ». Balacheff réinvestit ensuite son cadre théorique dans des analyses didactiques de séances.

Complexité et validation des connaissances

Le sujet de mon mémoire élargit la question des processus de validation à une autre discipline, l'anglais, langue vivante étrangère. Le but est de définir comme Balacheff un cadre théorique pour observer ou expérimenter. La complexité de la question se trouve alors exacerbée par les natures fortement différentes des deux disciplines comparées (l'anglais et les mathématiques). Il ne s'agit plus ici d'examiner la validation des connaissances dans une discipline scientifique, mais d'envisager plutôt comment elles sont acquises par les élèves dans des situations d'apprentissage. Le processus de validation doit alors être pris dans une acception plus large, prenant en compte les différents aspects des relations entre sujets et objets. Il en devient complexe à plusieurs égards:

- *complexité des sujets*, dans leur développement mental et les capacités ou compétences induites, leurs modes de raisonnement, leurs représentations du monde et des ses objets, leurs valeurs et leurs croyances, leurs déterminations....
- *complexité des systèmes langagiers* utilisés pour exprimer la réalité du monde et la pensée de chacun, à tel point qu'il faille «renoncer à l'idée positiviste d'une langue bien faite, qui

LES EXEMPLES:

dirait tout des objets de l'univers, et de manière univoque. Nous sommes condamnés à l'à-peu-près. »³³

- *complexité de la connaissance* elle-même, par sa nature, par son appréciation, par sa transposition didactique: L'«étude scientifique du processus de transposition didactique (...) suppose la prise en compte de la transposition didactique *sensu lato*, représentée par le schéma -> objet de savoir -> objet à enseigner -> objet d'enseignement, dans lequel le premier chaînon marque le passage de l'implicite à l'explicite, de la pratique à la théorie, du *préconstruit* au *construit*.»³⁴
- *complexité de l'action conjointe* du professeur et de sa classe, que les théories actuelles en sciences de l'éducation tentent de modéliser (Théorie Anthropologique du Didactique, modèle de l'action conjointe du professeur et des élèves³⁵...)
- *complexité du milieu* ouvert sur le monde qu'est la classe, impliquant des conflits socio-culturels, des débats éthiques,... Changeux avance la thèse « que l'usage du langage dans le traitement des connaissances représente beaucoup plus que la simple liaison entre son et sens. Il engage en quelque sorte la « mise en commun » des espaces de travail neuronaux et le partage contextualisé de représentations qui s'y développent, ainsi que leur sélection collective par les membres du groupe social. »³⁶

Pour parvenir à un outil pratique de recueil de données, mon mémoire propose une typologie générale des preuves dérivée de celle de Balacheff mais élargie. Les démarcations kantienne entre sujet et objet d'une part, et entre raisonnements purement théoriques et raisonnements empiriques d'autre part, autorisent deux échelles. L'échelle subjective propose des degrés s'étalant des croyances personnelles à l'invocation des pratiques des groupes sociaux auxquels appartient le sujet, et l'échelle objective propose des degrés parallèles, des axiomes mathématiques aux pratiques et postulats de l'expérimentation scientifique. La démarcation entre l'empirisme et la raison pure est localisée de façon diffuse dans les quatre échelons médians de l'expérience du sujet, pour lesquels la discrimination demeure incertaine. Un autre flou 'quantique' ou 'Gödélien' apparaît également aux extrémités des échelles où les quatre degrés, croyance et argument d'universalité pour le sujet,

33 Vergnaud G., 1996, *Au fond de l'action, la conceptualisation*, in *Savoirs théoriques et savoirs d'action*, dir. Barbier J-M, Paris, Ed. Presses Universitaires de France.

34 Chevallard Y., 1991, *La transposition didactique*, Grenoble, Ed. La Pensée Sauvage

35 Sensevy, G., Mercier A., Schubauer-Leoni M-L., Leutenegger, 2007, *Agir ensemble, l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*, Ed. Presses Universitaires de Rennes

36 Changeux J-P., 2002, *L'Homme de vérité*, Paris, Ed. Odile Jacob

LES EXEMPLES:

axiomes et postulats pour l'objet, se confondent.³⁷. L'utilisation conjointe de ces échelles et d'une autre articulant autorité et séduction permet ensuite de suivre des processus de validation. La complexité du processus est ensuite étalée chronologiquement dans des représentations graphiques permettant une analyse à la fois gnoséologique (nature des preuves), topogénétique (rôles attribués aux interlocuteurs quant à la validation d'un objet de connaissance) et communicationnelle (nature des discours et des postures).

Étudiant en M2 sciences de l'éducation.

Que dire sur ce thème sans entrer dans des banalités? Je serai bref. La complexité est bien évidemment présente partout. Entreprendre des études après une demi-vie et son lot de questionnements métaphysiques et psychanalytiques implique d'innombrables gestions d'incertitudes et d'impératifs. C'est une jonglerie permanente entre les devoirs de père, d'époux ou de fils, et les contraintes professionnelles déjà assumées ou nouvelles issues de la formation. Les déplacements explosent, la gestion d'un agenda s'impose, les injonctions de productions s'accumulent,... En outre cette activité exacerbée amplifie par rétroaction les incertitudes de la motivation et les doutes sur les capacités personnelles. Le sujet pensant se met bien vite à osciller entre enthousiasme et renoncement. Heureusement, il y a aussi des moments plus porteurs de sens et de beauté. Entreprendre un master II en sciences de l'éducation réalise en effet une ouverture fantastique de mon éco-système. Ouverture aux autres d'abord, mes pairs comme les professeurs, dans leurs diversités, leurs sensibilités, leurs démarches. Ouverture à des connaissances nouvelles, à des modes de pensée jusque là implicitement écartés, à des représentations du monde originales, à des valeurs parfois partagées, parfois combattues. Ouverture professionnelle à la poursuite d'autres compétences et d'autres missions, dans des structures institutionnelles où la hiérarchie induit souvent la compétition au détriment de la collaboration. Ouverture interne enfin, plus personnelle, car ce master est pour moi une revigoration de mes propres recherches de sens au travers des sciences, des mathématiques et de la philosophie.

37 **Échelle subjective:** Croyances – Principes - Règles et schèmes – Expérience personnelle // Expérience individuelle (d'élève par exemple) – Expérience d'un groupe primaire (la classe par exemple) – Élargissement à la pratique d'un groupe secondaire (la famille, les amis par exemple) – Argument d'universalité.

Échelle objective: Axiomes – Démonstration formelle – Exhaustion de cas – Expérience singulière // Expérience scientifique unique – Expérimentation scientifique avec protocole – Argument de reproductibilité par référencement – Preuve scientifique théorique et postulats.

ANNEXE: HYPERGRAPHES ET COMPLEXITÉ

La théorie présentée ci-dessous a pour objectif de définir mathématiquement des concepts liés à la complexité. Ne seront rapportés ici que les éléments essentiels. Comme dans toute théorie, il y a au départ de tout concept logique introduit, des prémisses indéfinies, c'est à dire des mots évoquant de multiples sens qui seront tous acceptés.

Système d'objets et de relations

Les premiers mots indéfinissables sont les '*objets*' et les '*relations*'. Ils sont pris dans un sens ouvert, polysémique, poly-conceptuel. Un objet sera une entité floue, jamais complètement réductible. La nature même des objets est incertaine. Une relation sera ce qui relie des objets. Les natures des relations sont multiples et variées, nous les accepterons toutes. Une relation donnée entre des objets peut toujours être associée à un '*ensemble de valeurs*'. Ces valeurs dépendent à la fois de la nature de la relation en jeu et aussi de la nature même des objets impliqués. '*Système*' sera le nom donné à un ensemble d'objets et de relations. Ces premiers mots vont nous permettre déjà de définir la complexité. Prenons un objet au hasard, et cheminons depuis ce point de départ en usant des éventuelles relations comme si c'étaient des ponts entre les objets. Nous pouvons parcourir ainsi tout un *groupe d'objets*. Il peut alors y avoir des objets inaccessibles selon ce procédé. Ils constitueront à leur tour de nouveaux points de départ pour un nouveau groupe d'objets. Lorsque il y aura plusieurs groupes d'objets, le système sera dit '*système disjonctif*'. Sinon ce sera un '*système complexe*'.

On appellera encore '*système dynamique*' un ensemble de systèmes d'objets et de relations. Un système dynamique peut être vu comme un système dont la constitution change, c'est à dire dont les objets et les relations ont des quantités et des natures fluctuantes. Mais cette modélisation sous-entend une notion de temps qui n'est pas nécessaire.

Un '*système quantique*' sera un système d'objet et de relations dont les valeurs remplissent les trois conditions suivantes:

- Tout ensemble de valeurs contient une quantité finie de valeurs.
- Toute valeur présente une incertitude.
- L'incertitude des valeurs préserve leur disjonction.

On peut modéliser un ensemble de valeurs comme une réunion d'intervalles disjoints sur la droite

numérique.

Par opposition, on définira un '**système transcendant**' comme étant un système d'objets et de relations dont les ensembles de valeurs sont non bornés et denses. Les valeurs peuvent y atteindre la précision ultime, la nullité et l'infinitude.

Définissons maintenant une '**modélisation**' comme étant la mise en correspondance de deux systèmes d'objets et de relations. Cette notion mathématique repose sur des composantes locales de la correspondance, qui associent certains objets et certaines relations des systèmes de départ avec ceux et celles du système d'arrivée. Elle sera dite '*modélisation partielle*' lorsque des objets et des relations de l'ensemble de départ n'apparaîtront pas dans les composantes locales de la correspondance. Dans le cas contraire, elle sera dite '*modélisation complète*'.

Modélisation statique par les hypergraphes

Voici maintenant l'énoncé d'un *premier théorème de modélisation*:

Tout système d'objets et de relations est complètement modélisable par un hypergraphe.

Les hypergraphes sont des structures mathématiques issues de la théorie des modèles, et initialement étudiés par Claude Berge. Ce sont les équivalents mathématiques des systèmes d'objets et de relations. Les objets y sont représentés par des points -les sommets de l'hypergraphe- et les relations par des ensembles -les arêtes de l'hypergraphe- contenant certains de ces points. Les arêtes peuvent présenter toutes les possibilités d'incidence (disjonctions, intersections, inclusions). On peut en outre associer des couleurs aux sommets et aux arêtes afin de modéliser des valeurs. Un système dynamique est par la suite équivalent à un ensemble d'hypergraphes.

Là où les choses deviennent intéressantes, c'est qu'on peut démontrer qu'un hypergraphe est décomposable en une suite d'hypergraphes emboîtés les uns dans les autres à la façon de poupées russes. Dans cette décomposition, induite par les arêtes, chaque sommet d'un hypergraphe est lui-même un hypergraphe. C'est **la structure fractale** des hypergraphes. En termes de système d'objets et de relations, les objets apparaissent ainsi constitués d'autres objets. Pour un objet donnée, on définira ses '*propriétés*' comme étant les relations qui relient ses objets internes.

Les arêtes d'un hypergraphe étant des ensembles de sommets, elles sont donc également constituées d'hypergraphes. Elles définissent ainsi de nouveaux groupes d'objets qui s'enchevêtrent et qui à leur tour pourront être pris dans de nouvelles relations. Ainsi, la distinction entre sommets et arêtes s'estompent dans les hypergraphes, et donne corps à une **dialogique objet/relation/groupe**. Les

objets se croisent et s'imbriquent dans des associations aux contours flous et aux relations multiples et variées.

La technique mathématique qui conduit à la décomposition d'un hypergraphe ne donne pas une décomposition unique. Bien au contraire, à chaque niveau d'emboîtement, plusieurs possibilités sont possibles simultanément. Choisir une décomposition plutôt qu'une autre relève de la mesure physique. L'hypergraphe ne choisit pas, il navigue entre les solutions. La structure fractale d'un hypergraphe présente ainsi une indétermination ontogénique qui se traduit par une incertitude sur les frontières des groupes d'objets, et donc des objets et des relations par dialogisme. L'état des objets, ou celui du système tout entier, n'est connu que par des probabilités. C'est une superposition de toutes les décompositions possibles. Ainsi, un système dynamique d'objets et de relations est par essence un *système probabiliste*.

Modélisation dynamique par les flux

Introduisons maintenant le concept de '*flux*'. Un flux est ici une fonction mathématique, à *variables* dans un *ensemble de départ ordonné*, et à valeurs dans un système dynamique. Cela nous permet de compléter la modélisation d'un système par un *deuxième théorème de modélisation*:

Tout système dynamique est partiellement modélisable par un flux.

On peut maintenant tenter une typologie des flux.

On appellera '*flux temporel*' un flux dont l'ensemble de départ est de dimension 1. Une seule variable en est extraite et elle doit être irréversible, c'est à dire qu'elle doit respecter un ordre défini sur l'ensemble de départ. Il s'agit par exemple du temps galiléen, où l'ensemble de départ est la droite numérique réelle munie de la relation de comparaison, et l'ensemble d'arrivée est un système dynamique obéissant aux lois de la mécanique non relativiste et représentant le monde. Autre exemple, le temps didactique. L'espace de départ, toujours de dimension 1, est un axe chronogénétique. Les valeurs prises par la variable temporelle sont des moments de l'étude, bornés, et incertains quant à leurs durées galiléennes. Si on considère que ces moments sont disjoints par l'action conjointe du professeur et de ses élèves, la chronogénèse relève alors d'une modélisation quantique, c'est à dire une modélisation dans laquelle le système dynamique d'arrivée du flux est un système quantique. L'entropie est également un flux temporel, avec pour ensemble de départ la demi-droite réelle positive et pour ensemble d'arrivée un système dynamique qui représente les états thermodynamiques du système.

Un flux sera dit '*flux structurel*' lorsque l'ensemble de départ aura au moins une dimension, et que les variables y seront réversibles. Un flux structurel permet d'envisager la création, l'annihilation et la transformation des objets et des relations. En terme de modélisation les hypergraphes d'arrivée ont des nombres de sommets isolés et des nombres d'arêtes qui varient de l'un à l'autre, ainsi que les couleurs. La spatialisation euclidienne en est un exemple où l'ensemble de départ est l'espace affine euclidien orienté de dimension 3 et l'ensemble d'arrivée un système dynamique quelconque générique du monde, c'est à dire des objets et relations qu'il est susceptible de contenir. Le 'zoom avant', comme par exemple celui que l'imagerie médicale nous propose quand elle nous plonge à l'intérieur d'un corps humain, est aussi un flux structurel. L'ensemble de départ y est de dimension 1 (la variable est le facteur de grossissement du zoom) et le système dynamique d'arrivée est la succession des clichés médicaux. Un film vidéo est le système dynamique d'arrivée d'un flux spatio-temporel quantique (car les prises de vue ont une résolution, une fréquence et une durée d'ouverture données, imprécises et non nulles) qui ne retient du système modélisé (le monde) que ses propriétés sonores et visibles.

L' Univers et la pensée

Axiome 1:

**Il existe un objet appelé Univers
qui est un système dynamique complexe et quantique.**

Axiome 2:

**Il existe au moins un objet de l'Univers
qui soit un système dynamique transcendant.
Un tel objet est appelé une pensée.**

Définitions de la connaissance et de l'information:

L'information est l'ensemble des flux possibles entre des objets de l'Univers.

La connaissance est l'ensemble des flux entre des objets de l'Univers et des pensées.

Dans ces deux définitions, il ne faut pas oublier que l'Univers et les pensées sont des objets. En conséquence, la connaissance ne connaît qu'une partie de l'Univers que nous appellerons '*l'univers*'

(avec un 'u' minuscule). Puisque la pensée est dans un Univers quantique, elle est elle-même condamnée à l'incertitude et à la finitude. En corollaire son univers est fini.

Pour aller un peu plus avant dans la complexité morinienne, nous pouvons encore définir l'auto-éco-organisation. On dira qu'un système dynamique est *organisé* lorsque il contient des relations reliant d'autres relations. De telles relations seront appelées des '*lois*'. Le système sera *auto-organisé* lorsque il possèdera des lois dépendant de ses relations internes. Il sera *éco-organisé* lorsque des lois agiront sur des relations externes.

Axiome 3:

**Il existe dans l'Univers plusieurs systèmes complexes auto-éco-organisés
contenant une pensée et appelés hommes.**

Tout comme les pensées, les hommes vivent dans un monde fini, et ce, quelles que soient les valeurs de l'Univers que leurs connaissances permettent d'envisager.

Finissons par un théorème trivial, **l'Univers est auto-organisé**, puisqu'il contient des hommes qui le sont.

L'ordre et le chaos

L'ordre et le chaos sont des modélisations par la connaissance des hommes de l'état des objets de l'Univers. Plus exactement, il s'agit d'une catégorisation de ces modélisations en fonction de la dispersion des états possibles. Plus un système a de probabilités d'être dans des états différents, plus il est chaotique. Inversement, l'ordre est une tendance à la raréfaction des états et l'augmentation du nombre de lois. L'ordre et le chaos ont pour origines des *sources* qui agissent à la fois sur les objets, les relations et les groupes (C'est une approche thermodynamique due aux physiciens Reynolds, Navier et Stockes). Ils sont aussi inhibés par des propriétés de ces mêmes objets, c'est l'intégration du principe d'*inhibition* de Berthoz. Dans les hypergraphes, une source de chaos et d'ordre à la fois est la création ou la destruction d'arêtes. L'existence de propriétés de symétries dans les hypergraphes est un paramètre qui intervient également de façon majeure. L'Univers étant auto-organisé, l'information contient des lois internes à l'Univers qui ont affaire avec l'ordre et le chaos. Il en va bien sûr de même pour l'univers, la pensée, les hommes et la connaissance, avec en plus des lois externes ou mixtes.

Illustration personnelle de la décomposition d'un hypergraphe

