HAL open science

Théorie des systèmes complexes appliquée à la modélisation d'environnements numériques d'apprentissage de nouvelle génération

Marc Trestini

▶ **To cite this version:**

Marc Trestini. Théorie des systèmes complexes appliquée à la modélisation d'environnements numériques d'apprentissage de nouvelle génération. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Université de Strasbourg, 2016. tel-01432687

HAL Id: tel-01432687

https://hal.science/tel-01432687v1

Submitted on 11 Jan 2017

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

Note de Synthèse de l'activité de recherche
présentée en vue de l'obtention de
L'Habilitation à Diriger des Recherches

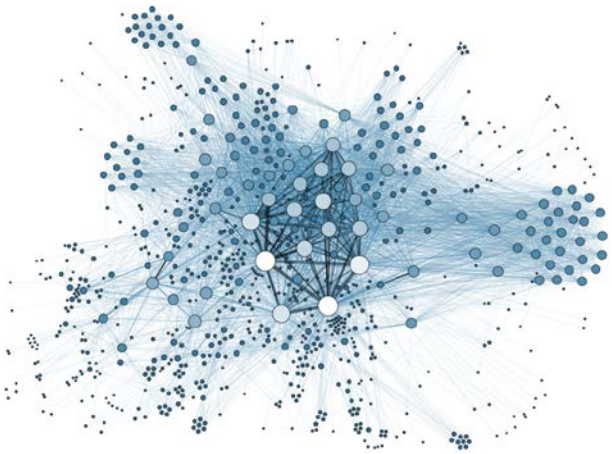
Volume 1

Marc TRESTINI

Maître de conférences – LISEC (EA 2310) – Université de Strasbourg

2016

Théorie des systèmes complexes appliquée à la modélisation d'Environnements Numériques d'Apprentissage de nouvelle génération



Source : « Social Network Analysis Visualization » par Martin Grandjean

Membre du jury :

Pr. Bernadette Charlier- Université de Fribourg (rapporteure)
Pr. Pierre-Léonard Harvey – Université de Québec à Montréal
Pr. Pascal Marquet - Université de Strasbourg (garant)
Pr. Françoise Poyet, Université Claude Bernard, Lyon 1.
Pr. Stéphane Simonian, Université de Rennes 2 (rapporteur)
Pr. Philippe Viallon – Université de Strasbourg (rapporteur)

Remerciements

En premier lieu, je tiens à exprimer mes profonds remerciements à mon garant, le Professeur Pascal Marquet, pour l'aide qu'il m'a apportée, pour sa disponibilité et ses encouragements à poursuivre le travail commencé. C'est avec bienveillance et compétences qu'il m'a guidé dans ce projet. Ses remarques pertinentes et ses conseils m'ont permis d'avancer avec assurance. Son regard d'expert a aussi été utile pour structurer mon travail et en améliorer la forme et le contenu.

Je tiens aussi à remercier les Professeur(e)s Michèle Kirch (71e), directrice de ma thèse et Bernard Ancori (70e), directeur de mon mémoire de DEA, d'avoir accepté sans difficulté que je m'engage dans des recherches pluridisciplinaires qui m'ont conduit à côtoyer ces deux sections de CNU.

Je remercie également ma famille proche, mon épouse Jeanette et mes enfants Adrien et David pour leur patience, atteignant parfois ses limites, vis-à-vis d'un mari et d'un père qui n'a pas toujours été très disponible, travaillant souvent tard le soir et les week-ends. Qu'ils sachent que je leur en suis très reconnaissant et que la vie continue avec des perspectives certainement plus réjouissantes...

J'exprime aussi ma gratitude à mon ami François Horvat qui m'a aidé à soigner la forme de ce texte en en faisant une relecture experte et attentive. Il reste certainement des corrections à faire, quelques coquilles et maladresses pour lesquelles le lecteur voudra bien m'excuser. Je m'engage évidemment à effectuer ces corrections avant une prochaine diffusion.

L'aboutissement de cette HDR a aussi été encouragé par de nombreuses discussions avec des collègues de mon laboratoire de disciplines variées. Je ne peux citer ici tous les noms sans prendre le risque d'en oublier car ils sont nombreux. Je tiens néanmoins à remercier en particulier Bernard Coulibaly, Isabelle Rossini, Emmanuelle Chevry, qui m'ont toujours soutenu et encouragé et encore Andréa Young qui a su prendre régulièrement du temps pour discuter avec moi de l'évolution de mon travail et partager sa propre expérience d'une HDR.

J'exprime également toute ma gratitude aux membres de mon jury pour l'honneur qu'ils me font d'avoir accepté cette tâche d'évaluation que ce soit en tant que rapporteur(e) ou en tant qu'examinateur(trice) : le Pr. Bernadette Charlier, Université de Fribourg, le Pr. Pierre-Léonard Harvey, Université de Québec à Montréal, le Pr. Pascal Marquet, Université de Strasbourg, Pr. Françoise Poyet, Université Claude Bernard (Lyon 1), le Pr. Stéphane Simonian, Université de Rennes et Pr. Philippe Viallon, Université de Strasbourg.

Résumé

Avec l'émergence des réseaux sociaux, des MOOC, de l'apprentissage informel *via* les réseaux et des approches connectivistes de l'apprentissage, l'analyse d'Environnements Numériques d'Apprentissages (ENA) devient de plus en plus complexe. Les modèles jusqu'alors utilisés pour rendre compte de l'activité instrumentée à des fins cognitives montrent aujourd'hui leurs limites. L'aspect massif d'un MOOC par exemple devient difficilement « représentable » dans ce type de modèles. Son caractère « ouvert » n'en est pas moins difficile à modéliser. De plus, l'évolution de ces environnements est chaotique et leurs effets apparaissent comme imprévisibles. Mais chaotique ne signifie pas hasardeux. Un système complexe est de nature imprévisible et il n'est pas possible de prédire directement, par le calcul, l'issue des processus en jeu. Mais il est possible, à partir d'une modélisation systémique, d'élaborer des scénarios plausibles sur la base des données disponibles (trace de l'activité, résultats de la simulation, tendances lourdes, propriétés émergentes, etc.). Comme le disait Paul Valéry, « nous ne raisonnons que sur des modèles ». Dès lors qu'il est perçu comme un phénomène complexe, un ENA de dernière génération peut donc être avantageusement représenté et analysé dans le paradigme de la Modélisation systémique de la complexité. C'est le parti-pris de cette HDR qui orientera d'ailleurs nos recherches futures.

Mots-Clés : Environnement Numérique d'Apprentissage – Modélisation des systèmes complexes – Enseignement à distance – Formation en ligne – Open Course Ware (OCW) – Modélisation des MOOC.

.

Table des matières

REMERCIEMENTS 2

RESUME 3

TABLE DES MATIERES 4

1 . INTRODUCTION 8

1.1.1 Les débuts de l'informatique dans mon parcours universitaire 9

1.1.2 Mon premier poste d'enseignant en Lycée et Collège 10

1.1.3 Un DEA portant sur la conception d'un dispositif d'EAD dans une économie de la connaissance 10

1.1.4 Une thèse sur la conception d'un dispositif de formation à distance 10

1.2 POURQUOI UNE HABILITATION A DIRIGER LES RECHERCHES ? 11

1.2.1 Une carrière déjà bien remplie 11

1.2.2 Le projet d'une habilitation à diriger des recherches 12

1.3 PLAN DE CETTE NOTE DE SYNTHESE 12

2 . UN ENVIRONNEMENT NUMERIQUE D'APPRENTISSAGE PERÇU COMME UN SYSTEME D'ACTIVITES INSTRUMENTEES 13

2.1 DE LA RADIO SCOLAIRE AUX MOOC : REGARD RETROSPECTIF SUR L'EVOLUTION DES ACTIVITES INSTRUMENTEES EN EDUCATION 13

2.1.1 Technologies éducatives, TIC, TICE, TUIC ? 17

2.1.2 Quelles sont précisément ces technologies ? 18

2.1.3 Et comment apprend-on ? 19

2.1.4 Modèles de l'apprentissage 21

2.1.5 Des modèles de l'apprendre aux pédagogies 21

2.1.6 TIC, théories de l'apprentissage et pédagogies : une évolution concomitante .. 22

2.1.7 De l'épistémologie objectiviste à la radio et la télévision scolaire 23

2.1.8 Du béhaviorisme à l'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO) 24

2.1.9 Du constructivisme aux micro-mondes 27

2.1.10 Du socioconstructivisme aux CLE, CSCL, cMOOC 30

2.1.11 Apprendre en réseau ouvert : du connectivisme aux MOOC 33

2.1.12 Synthèse de ces évolutions 41

2.2 L'ENA : UN SYSTEME D'ACTIVITE INSTRUMENTE 41

2.2.1 L'Environnement Numérique d'Apprentissage (ENA) 41

2.2.2 Les principes du paradigme systémique ... 43
2.2.3 Les étapes de la démarche systémique ... 46
2.2.4 L'ENA perçu comme un système ouvert ... 51
2.2.5 L'ENA perçu comme un système d'activité instrumenté ... 54
2.2.6 Conclusion ... 59

3 . MODELISER L'ACTIVITE INSTRUMENTEE AU CŒUR DE L'ENVIRONNEMENT NUMERIQUE ... 60

3.1 INTRODUCTION ... 60
3.2 MODELISER L'ACTIVITE INSTRUMENTE, OUI, MAIS POURQUOI ? ... 61
3.2.1 De quel type de modèle parle-t-on ? ... 61
3.2.2 Des modèles à usage multiple ... 62
3.2.3 Des modèles à usage spécifique ... 64
3.3 CONTOUR, COMPOSANTS ET NIVEAUX HIERARCHIQUES D'UN STYSTEME D'ACTIVITE INSTRUMENTE ... 70
3.3.1 Périmètre, objet et composants ... 70
3.3.2 Trois niveaux (macro, méso, micro) associés à des processus métiers ... 71
3.3.3 Un exemple d'analyse de dispositif de formation à distance ... 72
3.3.4 Niveaux, objet et modèles associés ... 73
3.4 TOUR D'HORIZON DES MODELES ET LANGAGES DE MODELISATION ... 73
3.4.1 Les modèles d'ingénierie pédagogique, les LMP (ou EML) ... 74
3.4.2 Les modèles d'ingénierie de formation ... 86
3.4.3 Les modèles adaptatifs ... 90
3.4.4 Les modèles systémiques de l'activité ... 91
3.4.5 Les modèles systémiques de la complexité ... 94

4 . LES MODELES DE L'ACTIVITE INSTRUMENTEE A L'EPREUVE DES INNOVATIONS TECHNO-PEDAGOGIQUES ... 95

4.1 DEVELOPPEMENT DU MODELE VYGOTSKIEN ... 96
4.1.1 L'encre numérique : vers un nouveau design d'environnement numérique d'apprentissage ... 97
4.1.2 Usages des tablettes (iPad) en contexte scolaire ... 99
4.2 EXPANSION DU MODELE D'ENGESTRÖM ... 101
4.2.1 A la recherche d'un modèle fédérateur en EAD ... 101
4.2.2 Première expansion du modèle d'Engeström pour un design de CLE ... 104
4.3 NOUVEAU CONTEXTE D'USAGE ET NOUVELLE EXPANSION ... 106
4.3.1 Les ENT scolaires : le cahier de texte en ligne ... 106
4.3.2 Deuxième expansion du modèle : faciliter l'analyse du cahier de texte en ligne 107
4.4 EXPANSION DES MODELES D'INGENIERIE PEDAGOGIQUES ET DE FORMATION ... 108
4.4.1 Résistance des modèles d'ingénierie pédagogique ... 108
4.4.2 Evolution vers des modèles d'ingénierie de formation ... 112
4.5 DES MODELES DE MOOC A CONSTRUIRE ... 112
4.6 CONCLUSION SUR LES CONDITIONS DE RESISTANCE DES MODELES D'ENVIRONNEMENT NUMERIQUES D'APPRENTISSAGE ... 114

5 . L'ENVIRONNEMENT NUMERIQUE D'APPRENTISSAGE INSCRIT DANS LE PARADIGME DE LA MODELISATION SYSTEMIQUE DE LA COMPLEXITE ... 116

5.1 THEORIE DES SYSTEMES COMPLEXES ET CADRE THEORIQUE DE REFERENCE 116
5.1.1 Définition d'un système complexe 117
5.1.2 Modélisation des systèmes complexes 125
5.2 ARGUMENTS EN FAVEUR DE L'APPLICATION DE LA THEORIE DES SYSTEMES COMPLEXES A LA MODELISATION D'ENA DE NOUVELLE GENERATION 134
5.2.1 Introduction 134
5.2.2 Parce que l'ENA est un système complexe 136
5.2.3 Parce que la théorie de la complexité se trouve au cœur de la conception connectiviste de l'apprentissage 141
5.2.4 Analogie conceptuelle entre la M.S. de la complexité et la M.S. de l'activité ... 143
5.2.5 Pour modéliser ces environnements avec des langages adaptés 144
5.2.6 Pour s'inscrire dans une démarche prospective 149

6 . MODELISATION D'UN « ENA » PERÇU COMME UN SYSTEME COMPLEXE 151

6.1 DES PROCESSUS FINALISES ET RECURSIFS DANS UN ENVIRONNEMENT ACTIF 152
6.1.1 Des processus (fonctions) finalisés identifiables 152
6.1.2 Des processus récursifs 158
6.1.3 Représentation des processus et niveaux fonctionnels du système 158
6.1.4 Les huit fonctions constitutives d'un ENA appliquées au notre modèle systémique 160
6.2 DES PROCESSUS SYNCHRONIQUES (LE SYSTEME FAIT) 164
6.2.1 Signifier la présence active d'inter-relations 165
6.2.2 Dresser l'inventaire des valeurs d'entrée et de sortie de chaque processus.... 166
6.2.3 Représenter les flots de données et les dépendances fonctionnelles entre les processus 167
6.3 DES PROCESSUS DIACHRONIQUES (LE SYSTEME DEVIENT) 170
6.3.1 Séquences typiques (ou scénarios) et suivis d'événement 172
6.3.2 Traces laissées par les événements 172
6.3.3 Les états et diagrammes d'états 173
6.3.4 Description des processus 174
6.4 UN SYSTEME CAPABLE DE TRAITER L'INFORMATION ET DE DECIDER DE SON COMPORTEMENT 175
6.5 UN MODELE FONDE SUR LES DONNEES DE L'ANALYSE 175
6.5.1 Un modèle construit à partir des données de l'analyse 175
6.5.2 Provenance et collecte des données 176
6.5.3 Analyse des données 186

7 . MODELISATION ET SIMULATION D'UN MOOC : VOLET PRATIQUE 189

7.1 MODELISATION DU MOOC 189
7.1.1 Diagrammes de packages et de cas d'utilisation 191
7.1.2 Diagrammes de « classes » 198
7.1.3 Diagrammes d'états-transitions 200
7.1.4 Diagrammes de séquences 201
7.2 SIMULATION DU MOOC 204
7.2.1 La structure du programme 204
7.2.2 Le script 204
7.2.3 Fichiers connexes 206

7.2.4 Paramètres qui entrent en jeu et valeurs d'initialisation 206
7.2.5 Progression dans les chapitres 207
7.3 RESULTATS DE LA SIMULATION 207
7.3.1 Niveau de compréhension total 207
7.3.2 Niveau de compréhension du module..... 208
7.3.3 Niveau de compréhension du chapitre..... 210
7.4 MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS OBTENUS..... 212

8 . PROGRAMME DE RECHERCHE..... 213

8.1 RECHERCHE ET ETUDE DE COMPORTEMENTS ADAPTATIFS NON PROGRAMMES 213
8.2 MODELISATION SYSTEMIQUE EN AMMONTD'UNE STATISTIQUE DESCRIPTIVE..... 215

CONCLUSION..... 217

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... 218

TABLE DES ILLUSTRATIONS..... 239

ANNEXES 242

1. Introduction

Cette note de synthèse rend compte de notre activité et de notre cheminement réflexif en matière de recherche au cours de cette dernière décennie. Elle présente nos principaux travaux et analyse leur cohérence à travers différents projets scientifiques. C'est en relisant nos publications et en écrivant cette synthèse que le fil conducteur de nos recherches nous est apparu plus évident.

Ces dernières ont débuté par notre thèse, soutenue en novembre 2005, et se prolongeront encore dans les années à venir, déjà émaillées de nombreux projets scientifiques. Les recherches conduites ces dix dernières années sont caractérisées par l'invariabilité de notre objet d'étude : les « Environnements Numériques d'Apprentissage » (ENA), soit une façon simple et rapide de décrire l'objet de notre travail. Nous nous intéressons plus précisément à ce que ces environnements numériques d'apprentissage *sont, font et produisent.*

Les ENA sont d'abord entendus dans leur acception la plus large, allant des environnements d'Enseignement Assistés par Ordinateurs (EAO) jusqu'aux *Massive Open Online Courses* (MOOC) en passant par les dispositifs d'Enseignement ou de Formation à Distance (EAD, FAD, FOAD). Nous nous sommes ensuite intéressés plus spécifiquement aux ENA de dernière génération caractérisés notamment par une plus large ouverture au public (OCW[1], MOOC, RSN[2], ..) ; le but ultime étant de produire de la connaissance sur la manière dont les internautes « apprennent » lorsqu'ils fréquentent ces environnements particuliers. D'un point de vue méthodologique, nous avons choisi de passer par *une modélisation* préalable de ces environnements afin de faciliter ce travail.

Notre objet d'étude actuel est donc présenté comme un *Système ouvert* que nous étudions avec les outils de la modélisation systémique, ce qui nous a naturellement conduit à la *Théorie générale des systèmes* et aux techniques de *Modélisation des systèmes complexes*. Nous qualifions ces systèmes de « complexes » parce qu'ils apparaissent comme imprévisibles. Il n'est en effet pas possible de prédire directement *par le calcul* l'issue des processus mis en jeu, ni même de préjuger d'un quelconque comportement à partir d'une simple composition des comportements individuels de ses constituants. Il est néanmoins possible d'élaborer des scénarios plausibles (phénomènes d'émergences, tendances lourdes, etc.), sur la base d'un modèle qui se construit et se précise progressivement par itérations successives entre le système d'un monde construit et ce que perçoivent les utilisateurs lorsqu'ils observent les réalités ou les objets qui constituent ce monde. La modélisation systémique de la complexité renvoie donc aux épistémologies constructivistes : « pour le constructivisme, la connaissance est construite par le modélisateur qui en a le projet dans ses interactions permanentes avec les phénomènes qu'il perçoit et qu'il conçoit. Ce processus de construction de connaissance active est au cœur du processus de modélisation des phénomènes ou des systèmes perçus complexes » (Le Moigne, 1999, p. 23). Nous discuterons plus en détail des caractéristiques des ENA perçus comme des systèmes complexes ainsi que des modèles qui permettent de les représenter.

En avant-propos, insistons sur le fait que nos fréquentes références aux théories des systèmes complexes et à leur modélisation donnent un caractère résolument pluridisciplinaire à nos recherches. Les systèmes complexes sont en effet « des objets intrinsèquement pluridisciplinaires ; pour un même objet, ce sont des théories différentes et hétérogènes qui

[1] OpenCourseWare.

[2] Réseaux Sociaux Numériques.

peuvent en rendre compte » (Bourgine, 2004, p.1). Cela place nos travaux au carrefour des approches éducationnelle et communicationnelle de l'apprentissage et nous conduit parfois à d'inévitables allers-retours entre différentes disciplines, en particulier entre les 70e et 71e sections du CNU.

Si nous avons choisi d'emprunter ce parcours que l'on pourrait qualifier « d'entre-deux » c'est tout simplement parce que nous le jugions utile. Il reste en effet tant à faire sur le plan théorique pour établir les concepts et les modèles qui permettraient de fournir des explications élégantes aux phénomènes observés dans ces environnements numériques de dernière génération, phénomènes souvent qualifiés d'émergents. Comme le soulignent Harvey et Lemire, (2001, p. 28) « les problèmes socio-économiques et environnementaux complexes d'aujourd'hui, et encore plus dans l'avenir, bénéficient et vont bénéficier de la communauté des esprits des spécialistes et praticiens les plus divers pour trouver des réponses. La solution n'est plus la contribution d'une seule discipline. Elle est transdisciplinaire ». De plus, « aucun domaine d'étude ne peut être réservé à une science particulière. Une science ne s'identifie pas par son domaine d'étude mais par les théories, concepts et méthodes qu'elle met en œuvre pour étudier, à sa manière, un domaine… » (Mucchielli, 2006, p. 223).

Le caractère transversal de nos recherches a probablement été à l'origine de l'évolution significative de nos méthodes, techniques et stratégies mises en œuvre pour étudier ces ENA particuliers. Au bout de dix années de recherche portant sur ce sujet, cette approche transdisciplinaire nous a conduit vers un nouveau paradigme scientifique : appliquer la théorie des systèmes complexes à la modélisation d'environnements numériques d'apprentissage de nouvelle génération. Cette évolution importante vise à adapter la pratique scientifique à ses nouveaux champs d'étude et ainsi étendre la portée de la science des systèmes complexes vers ces domaines de l'apprentissage à distance.

1.1.1 Les débuts de l'informatique dans mon parcours universitaire

Nous sommes nés en 1959, date à laquelle Jack Kilby inventa le premier circuit intégré contenant plusieurs transistors gravés sur une minuscule puce de silicium. Ces petits composants à trois pattes (les transistors) interconnectés vont révolutionner le monde. Ils fonctionnent en commutation, c'est-à-dire qu'ils ne laissent passer le courant entre leur collecteur et leur émetteur que si leur base est elle-même traversée par un courant. Un peu comme un neurone qui génère un influx nerveux s'il est lui-même la cible d'un autre influx nerveux.

Il devient ensuite possible de graver des millions de transistors connectés entre eux sur un même cristal de silicium formant ainsi des circuits permettant la réalisation de mémoires et d'unités logiques et arithmétiques. Ces circuits se spécialisent et deviennent rapidement des micro-processeurs. De cette fantastique découverte sont nés l'informatique et le monde du numérique.

Cela peut certes paraître trivial, mais peu de gens pourront dire « plus tard » comment étaient ces deux mondes : celui « avec le numérique » et celui « sans le numérique ». Avoir vécu cette révolution est une véritable chance, pouvoir en conserver des impressions fondées sur un vécu et non pas sur des représentations ou des récits en constitue une autre.

1.1.2 Mon premier poste d'enseignant en Lycée et Collège

Après un CAPET[3] en informatique industrielle, nous nous sommes lancés dans une carrière de professeur des lycées et collèges de 1981 à 1996 (qui s'est prolongée à l'ESPE à partir de 1996 jusqu'en 2006). Mon premier poste de professeur était précisément dans l'informatique (informatique industrielle). Tout enseignant se rappelle de l'émotion que suscite une salle de classe vide que l'on observe silencieusement peu avant le premier cours de sa carrière. La mienne, qui devait accueillir mes premiers élèves, était équipée d'une quinzaine d'ordinateurs (MO5, TO7, serveur Léanord) et déjà quelques PC (*Personal Computer*) raccordés à des robots articulés. Nous étions au cœur du plan IPT (Informatique pour Tous) au début des années 1980. C'est à partir de cette époque, sollicité par de nombreux collègues qui « n'y connaissaient rien en informatique » que nous avons été invités par l'institution à les former à la maîtrise de ces outils (pour la plupart restés dans les cartons) mais aussi aux usages pédagogiques de ces technologies. Cela nous a valu par la suite « quelques reconnaissances » pour enseigner à l'IUFM à l'époque où ses enseignants étaient encore recrutés sur la base de leur « expérience pédagogique ».

1.1.3 Un DEA portant sur la conception d'un dispositif d'EAD dans une économie de la connaissance

Après plusieurs années passées en tant que formateur TICE à l'IUFM d'Alsace, nous avons décidé de nous lancer dans un DEA à l'Université Louis Pasteur (Strasbourg I) en « Sciences, Technologie et Société : histoire et enjeux » qui avait pour finalité essentielle de former par la recherche interdisciplinaire des chercheurs en épistémologie sensibles aux dimensions anthropologique, sociologique et économique du développement scientifique et technologique des sociétés modernes. Un autre objectif visé par cette formation était de nous spécialiser, en tant que futurs chercheurs, dans des études sociales des sciences et de la technologie, sensibles à la dimension proprement épistémologique de celles-ci. C'est à cette occasion que nous nous sommes engagés en 2001 dans une première recherche approfondie intitulée : « Technologies de l'Information et de la Communication à l'université : outils d'apprentissage dans une économie fondée sur la connaissance ».

1.1.4 Une thèse sur la conception d'un dispositif de formation à distance

A l'époque de notre thèse, les formations à distance tiraient déjà profit des TIC (*versus* les cours « par correspondance »). Ces technologies servaient principalement à mettre à disposition des apprenants le cours qu'ils étaient censés apprendre (le contenu), à faciliter la communication entre les différents acteurs de la formation et enfin à médiatiser (scénariser) des situations d'apprentissage *significatives*. Mais à vrai dire, elles ne rencontraient pas toujours un franc succès auprès des acteurs de l'éducation et de la formation. Les raisons de ces réticences étaient probablement dues aux nombreux échecs que ces formations ont connus, avec des décrochages et des abandons importants. De fait, et avant d'en généraliser l'usage, il nous semblait intéressant de réfléchir aux obstacles qui devaient encore être levés pour atteindre le but recherché. Notre premier travail a donc été d'identifier les paramètres qui joueraient en faveur ou en défaveur de ces formations pour ensuite proposer, dans toute la mesure du possible, de meilleures conditions d'apprentissage. Ces dernières étaient caractérisées par *des actions* à entreprendre pour améliorer l'efficacité de ces dispositifs. En conséquence de quoi, elles ont été qualifiées d'*hypothèses d'action*, autrement dit « des

[3] Certificat d'Aptitude au Professorat de l'Enseignement Technique.

hypothèses qui établissent un lien entre un but à obtenir et une action à mettre en place » (Berthon, 2000). A cette époque, nous considérions déjà ces dispositifs comme des systèmes complexes. Nous décidions alors de les étudier avec les outils de la systémique. L'approche systémique d'Engeström (1987) en particulier nous a permis d'adopter un point de vue qui n'était pas uniquement fondé sur la communauté ni sur les instruments utilisés, mais qui prenait en compte l'ensemble du contexte des activités (Baron et Bruillard, 2004). Nous verrons que ce modèle nous a longtemps accompagné dans notre travail d'analyse et qu'il a joué un rôle important dans nos recherches (Cf. Volume 2 : 11, 12, 19)[4]. Par la suite, l'évolution des contextes de formation à distance nous a conduit à utiliser autrement ce modèle triadique avant de décider d'en adopter d'autres.

1.2 POURQUOI UNE HABILITATION A DIRIGER LES RECHERCHES ?

1.2.1 Une carrière déjà bien remplie

Après notre qualification en Sciences de l'Education, nous avons obtenu un poste d'enseignant-chercheur à l'ESPE de Strasbourg. Depuis, nous poursuivons nos activités d'enseignement dans cette composante et celles de recherche au LISEC (Laboratoire Interuniversitaire des Sciences de l'Education et de la Formation). Nous sommes membre de ce laboratoire depuis près de quinze ans, en tant que thésard dans un premier temps, puis comme membre permanent.

Nos travaux portent donc sur la modélisation d'Environnements Numériques d'Apprentissage de dernière génération (OCW, MOOC, SPOC, …) qui se situe au carrefour des approches éducationnelle et communicationnelle de l'apprentissage. Ils s'inscrivent dans le champ de recherche de la Modélisation des systèmes complexes et visent à étudier leur comportement et rendre compte de propriétés émergentes. Comme nous le verrons en détail, l'ENA est ici considéré comme un système d'activité instrumentée et renvoie donc aux théories de l'activité instrumentée (Vygotski, Leontiev, Kuutti, Engeström, Rabardel, Davis, ...) et de la modélisation des systèmes complexes (Von Bertalanfffy, Boulding, Le Moigne, Morin, Tardieu, Rochfeld, Colletti, ...).

Responsable de l'équipe[5] « Technologie et Communication » (Tec&Co) depuis quatre ans, nous participons activement à l'ensemble des activités du laboratoire. Etant également directeur du Collégium « Education et Formation » de l'Université de Strasbourg qui regroupe la Faculté des Sciences de l'Education, l'ESPE et le LISEC, nous veillons avec le directoire et les directeurs de composante à la cohérence des plans de formation et au développement des activités de recherche du Collégium. Cette responsabilité nous fait appréhender avec plus d'acuité le fonctionnement de nos institutions (commission finance, commission recherche, COP, etc.) et la manière dont les différents dossiers sont traités (CRCT, PEDR, Idex recherche, Idex formation, financement colloques, classement de projets, etc.). Au-delà de ces responsabilités, nous sommes aussi membre de la chaire UNESCO : « Pratiques journalistiques et médiatiques. Entre mondialisation et diversité culturelle » depuis octobre 2015. Nous sommes également président de la Commission de certification du C2i2e pour l'Université de Strasbourg depuis septembre 2012 et avons été entre 2009 et 2011 chargé de mission « Enseignement à distance »» auprès de la Vice-Présidence « Politique du Numérique » de cette même université. Nous avons en outre participé et dirigé plusieurs

[4] Cette note renvoie aux articles du Volume 2 : « Travaux de recherche présentés en vue de l'habilitation à diriger des recherches ». Les numéros correspondent aux numéros d'articles cités.

[5] Le laboratoire LISEC (EA 2310) est constitué de quatre équipes.

projets de recherche (pour la plupart financés), rempli plusieurs missions et assuré de nombreuses fonctions d'expertise pour des congrès, des colloques, des revues référencées et non référencées. Dernièrement, notre candidature a été retenue par la présidence de l'ATIEF[6] pour présider le comité d'organisation de la prochaine conférence EIAH 2017 qui aura lieu à Strasbourg. Mon *curriculum vitae* (Cf. Volume 3) rend compte dans le détail de toutes ces activités.

1.2.2 Le projet d'une habilitation à diriger des recherches

Très récemment, grâce la confiance de mes collègues du laboratoire, nous avons été élu à la fonction de directeur du LISEC Alsace pour le quinquennal 2018-2022. N'ignorant pas que la crédibilité d'un directeur régional est renforcée par sa capacité à diriger des recherches (HDR), il nous semblait que la soutenance d'une HDR avant 2018 irait dans le bon sens. Mais au-delà de ce constat, c'est surtout pour pouvoir m'impliquer davantage dans des projets de recherche et diriger des thèses que je souhaitais passer mon HDR. Et pour être totalement franc, l'idée de devenir professeur était aussi une perspective de carrière que nous envisagions sérieusement.

1.3 PLAN DE CETTE NOTE DE SYNTHESE

Cette note de synthèse est organisée en huit parties principales.

Cette première partie introductive était consacrée à la présentation de notre travail, son évolution mais aussi à nos motivations que nous avons souhaité inscrire dans un contexte personnel et professionnel. Au chapitre 2, nous décrivons notre objet d'étude tel que nous le percevons, c'est-à-dire comme un S*ystème d'activités instrumentées*. Puis, nous rendons compte au chapitre 3 des enjeux de *la Modélisation* à travers la description des objectifs visés, de ses contours, et des outils qu'elle utilise. Cela nous permet de procéder à un premier inventaire des modèles visuels et des langages de modélisation utilisés en EIAH. Le chapitre 4 aborde la question de la résistance de ces modèles lorsqu'ils sont confrontés à un changement de contexte sociotechnique et en particulier lorsque s'y introduisent des innovations techno-pédagogiques. Les modifications structurelles et fonctionnelles qu'elles provoquent nous conduisent à inscrire notre travail dans le paradigme de la *Modélisation systémique de la complexité* (Chapitre 5). Après avoir décrit ce paradigme et argumenté ce choix, nous proposons dans une sixième partie une démarche de modélisation systémique qui évolue en suivant les neuf niveaux croissants de complexité d'un système (Bouldind, 1956, 2004) ; chaque niveau comportant tous les caractères des niveaux inférieurs. Cela nous conduit à illustrer au chapitre 7 la méthode préconisée en l'appliquant concrètement à la modélisation et à la simulation d'un MOOC récent : « Gestion de projet ».

Avant de conclure et fédérer nos références bibliographiques, nous dédions la huitième partie à nos perspectives de recherche.

Enfin, deux documents séparés de cette note de synthèse (Volume 1) rassemblent d'une part une vingtaine de publications *illustrant notre parcours* de chercheur (Volume 2) et d'autre part les différentes rubriques du traditionnel *curriculum vitae* d'un enseignant-chercheur (Volume 3).

[6] Association des Technologies de l'Information pour l'Education et la Formation.

2. Un Environnement Numérique d'Apprentissage perçu comme un système d'activités instrumentées

2.1 DE LA RADIO SCOLAIRE AUX MOOC : REGARD RETROSPECTIF SUR L'EVOLUTION DES ACTIVITES INSTRUMENTEES EN EDUCATION

« L'éducation a toujours utilisé des supports, des médias, des instruments et procédés divers afin de faciliter la transmission de connaissances aux apprenants » (Baron, 2011, p.109). De tous ces instruments, le traditionnel tableau noir ou encore le rétroprojecteur sont les plus connus. Plus récemment, l'ordinateur, le vidéoprojecteur, la tablette numérique, le TBI (tableau blanc interactif) ou encore les dispositifs de formation à distance (dont les MOOC font partie) viennent s'ajouter à la liste des instruments fréquemment utilisés en éducation. Aussi parfois appelés « auxiliaires pédagogiques » ou « outils de médiation », tous ont vocation à médiatiser[7] (Peraya, 2005) et/ou médier (Fabre, 2013) les relations entre l'apprenant, l'enseignant et le savoir telles qu'elles apparaissent par exemple dans le triangle pédagogique de Houssaye (1988). Ces instruments médiatisent en outre d'autres relations, comme par exemple celles qui s'établissent entre les apprenants eux-mêmes lorsqu'ils sont conduits à travailler ensemble. C'est en particulier le cas des plateformes d'enseignement à distance comme Moodle, Claroline, Sakaï, Acolad, Dokeos, conçues dans le but de favoriser les activités dites « collaboratives » ou « coopératives ». Dans ce type d'environnement, la plateforme et ses artefacts liés médiatisent la relation entre les apprenants eux-mêmes *(les sujets)* et/ou entre ces derniers et leur groupe d'apprentissage *(leur communauté)*, relations que l'on retrouve d'ailleurs formalisées dans le modèle de l'activité d'Engeström (1987, p.78).

De fait, les technologies dites éducatives représentant majoritairement cet ensemble de moyens peuvent s'inscrire, en tant qu'objet de recherche, dans le paradigme de l'activité humaine qui considère que l'activité s'organise et se déploie au moyen d'instruments. Selon cette théorie, « les actions sont toujours insérées dans une matrice sociale composée d'individus et d'artefacts […]. Et comme l'esprit fonctionne à travers des artefacts, son travail ne peut être lié inconditionnellement et exclusivement au cerveau ou à l'individu lui-même ; il devrait être perçu comme distribué dans les artefacts liés. Lesdits artefacts « lient les individus et les actions d'une manière perméable, changeante et évènementielle »[8] (Ducrocq-Henry, 2005, p.6). C'est aussi pour cela que nous considérons ces environnements numériques d'apprentissage (de l'EAO aux MOOC) comme des systèmes d'activités instrumentées relevant à la fois de la théorie des systèmes et de la théorie de l'activité.

Leur intégration dans le système éducatif français a débuté dans les années soixante, et elles faisaient alors figure de renouveau à l'école avec l'émergence de la radio scolaire et les programmes éducatifs télévisuels. L'ordinateur a ensuite été introduit à partir de 1971 dans le secondaire afin de répondre aux exigences des programmes d'introduction de l'informatique. Il s'installera massivement dans l'espace scolaire dans les années quatre-vingts avec le plan

---

[7] « Le point de vue de la médiation rejoint celui de la communication, où la médiation peut se définir comme une traduction, un lien entre l'énonciateur et le récepteur […] au travers des dispositifs qui accompagnent l'usager et facilitent les usages, … » [FAB 13]. Le terme de médiatisation est aussi utilisé pour évoquer la médiation à l'aide d'instruments matériels. Mais lorsqu'elle est appliquée aux ENA elle renvoie plutôt aux travaux de Daniel Peraya [PER 05] qui utilise ce terme « pour désigner le processus de création de tels dispositifs de formation et communication médiatisées, processus dans lequel la scénarisation occupe une place importante.

[8] Source : Article Théorie de l'activité de Wikipédia en français (http://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie_de_l%27activit%C3%A9). Samuelle Ducrocq-Henry 16 juin 2005 Conférence du Professeur au département d'Éducation de l'UQAT Le « Lan Party » : Aspects de socialisation, d'identité et d'apprentissage reliés au jeu vidéo en réseau. http://www.ludisme.com/media/Conference_SDH_LAN.pdf

IPT[9] de 1985. Cette date marque aussi l'apparition et l'usage des premiers réseaux d'ordinateurs en éducation (les nanoréseaux)[10]. Les premiers échanges de documents numériques entre élèves et enseignants (pages de textes, images, programmes, …) *via* des *serveurs* ont été à l'origine de profonds changements dans les pratiques pédagogiques. Quel enseignant n'a pas aujourd'hui recours au réseau pour partager des documents avec ses élèves ? Plus tard, l'arrivée d'Internet en 1971 et du Web 1.0 en 1990 a une fois encore permis de découvrir de nouveaux usages en éducation. Les premières recherches d'information sur Internet illustrent ce renouveau dans l'activité de la classe. Mais c'est surtout avec le Web 2.0 en 2002, aussi appelé Web dynamique ou Web social, que la révolution « internet » a vraiment marqué l'éducation. Les premiers dispositifs d'EAD ainsi que les plateformes sur lesquelles ils reposent s'appuient sur cette technologie et n'ont pu se développer qu'à travers celle-ci. C'est d'ailleurs ce même web 2.0 (avec seulement quelques évolutions) qui permet aujourd'hui d'offrir à quiconque dans le monde la possibilité de se former *via* les réseaux et en particulier avec les MOOC. Ces derniers s'introduisent également en éducation avec leur lot de nouveautés. Depuis que le premier MOOC *Connectivism and Connective Knowledge* (CCK08) de Georges Siemens et Stephen Downes a vu le jour au Canada en 2008, les MOOC se sont développés de manière impressionnante dans le monde entier et se sont installés sur le terrain de l'enseignement scolaire et universitaire en soutenant des démarches pédagogiques originales. Ils ont du reste réactivé certaines méthodes d'enseignement comme « la classe inversée » ou le « présentiel enrichi ». Entre 2002 et aujourd'hui, bien d'autres instruments ont fait leur apparition en éducation. Sans vouloir être exhaustifs, citons par exemple toute cette panoplie de technologies émergentes comme le *Cloud* qui laisse présager la venue du Web 3.0, les tablettes, les tablettes-PC, les smartphones, les processus de géolocalisation, la réalité augmentée, etc. Le principe de la réalité augmentée rend désormais possible la superposition d'un modèle virtuel 3D qui « flotte » au-dessus d'un objet réel, un peu à la manière d'un hologramme, mais à travers des écrans numériques, smartphones et tablettes en particulier. Le concept à peine révélé fait déjà son apparition à l'école. Il existe par exemple des applications[11] qui permettent de transformer des dessins d'enfants (plus généralement des « éléments déclencheurs » ou des « marqueurs ») en une image virtuelle en 3D (une « *Auras* »). D'un simple clic, l'image se superpose au dessin en le survolant, preuve que l'innovation technologique à des fins éducatives ne cesse de nous surprendre. Azuma (1997, cité par Domingues, 2010, p.10) est l'un des premiers chercheurs à définir la réalité augmentée : « La Réalité Augmentée (RA) est une variante de la Réalité Virtuelle (RV). Alors que la réalité virtuelle plonge un individu dans un environnement virtuel où il ne peut voir le monde réel, la RA permet à l'utilisateur de voir le monde réel où des objets virtuels y sont superposés. Un système de réalité augmentée doit combiner les objets réels avec les objets virtuels, le tout en temps réel ». Dans le milieu de l'enseignement, de nombreuses applications de réalité augmentée à visées éducatives se développent actuellement. Elles ouvrent la voie à des visions futuristes de nouveaux usages en éducation : dans une classe, un musée, un zoo, une bibliothèque. Elles concernent en outre toutes les

---

[9] Informatique Pour Tous.

[10] Le nanoréseau a été conçu par l'Université des sciences et technologies de Lille en 1982. Il reliait un serveur de de marque Léanord à des ordinateurs MO5, TO7 Thomson)

[11] « Polyèdres Augmentés » Chaque marqueur de réalité augmentée est associé à une figure géométrique, cube, parallélépipède, cylindre, sphère, cône, pyramide, tétraèdre, 5 prismes différents. Voir https://play.google.com/store/apps/details?id=com.miragestudio.polygons

Ou Aurasma par exemple qui est une application mobile permettant de « lire » la réalité augmentée réalisée spécifiquement pour cette application. Elle permet également de créer sa propre réalité augmentée. En effet, on peut facilement, depuis son smartphone ou de sa tablette, incruster une image ou une vidéo sur un élément du réel. Avec l'application Aurasma, on peut ainsi créer, partager et lire des « Auras ». Une Aura est constituée par l'ensemble suivant : incrustation virtuelle plus un élément déclencheur (appartenant au réel). L'élément déclencheur c'est ce qui est reconnu par Aurasma pour déclencher l'incrustation de l'élément virtuel https://www.aurasma.com

disciplines : l'apprentissage des langues, la géométrie, les sciences, la lecture, les arts… (Kadio, Prevost et Remmer, 2016)

Ainsi, l'idée plus ou moins explicite que l'usage des technologies en contexte scolaire est porteuse de progrès et d'efficacité éducative s'est progressivement développée dans la culture populaire en renforçant une représentation collective déjà très idéalisée de ces technologies en éducation.

Mais grâce aux nombreux travaux de recherche qui ont été conduits dans ce domaine, l'on sait aujourd'hui que les performances des apprenants ne sont pas forcément meilleures lorsque ces technologies sont utilisées (Endrizzi, 2012, p.1). « Dans la mouvance de ce que Russell (2001) a appelé le *no significant difference*, de nombreuses critiques ont été émises, et le sont encore, sur les recherches réalisées, jugées inappropriées pour apporter la « preuve » de l'impact des technologies sur l'apprentissage » (Ibid, p. 1). Rappelons à cet égard la célèbre controverse des années 90 de Clark (1983 ; 1994) et Kozma (1991 ; 1994) sur l'influence du média sur l'apprentissage. Clark considérait que les médias n'influencent pas plus la réussite des élèves que le camion qui livre nos aliments influence notre alimentation. . Kosma quant à lui reconnaissait que les technologies ont été jusqu'à présent peu influentes mais qu'elles devraient jouer un rôle accru au sein des processus éducatifs (Trestini, Christoffel et Rossini, 2010).

Depuis cette controverse, le débat perdure et les questions qu'il soulève demeurent plus que jamais d'actualité. Philippe Dessus et Pascal Marquet (2009, p.7-10) sont d'ailleurs revenus sur cette question au cours d'un entretien avec Clark lui-même pour la revue « Distances et savoirs ». S'ils reconnaissent tous deux que le débat Clark et Kozma s'est déplacé sur de nouveaux objets, ils se demandent si les questions fondamentales que ce débat pose ont été définitivement réglées ou si elles sont encore à tester empiriquement ? (*Ibid*.).

Plus récemment encore, alors que vient d'être annoncé en France un vaste *plan numérique à l'école*[12], « les résultats de la première étude de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE) sur les compétences numériques des élèves, publiée le 14 septembre 2015, montrent qu'il ne suffit pas d'équiper massivement les élèves et enseignants d'outils numériques pour améliorer leurs performances »[13]. Pour Scardigli (1989), Musso et al. (2007), « les innovations numériques suscitent initialement des attentes aussi démesurées qu'idéologiques, lesquelles sont typiques d'un déterminisme technologique qui prédomine dans les discours sur le numérique en éducation ».

Entre partisans et réfractaires, que faut-t-il en définitive penser de ces environnements numériques d'apprentissage ? Permettent-ils réellement de mieux apprendre ? Sont-ils d'ailleurs des outils d'apprentissage ou simplement des outils au service des apprentissages ? Quelle est leur réelle efficacité sur le plan cognitif ? Remplissent-ils effectivement ce rôle de médiation que l'on veut bien leur reconnaître ? Changent-ils vraiment la manière d'apprendre de l'apprenant ?

On entend en effet souvent dire que les jeunes élèves aujourd'hui apprennent autrement avec les technologies. Apprennent-ils vraiment autrement ou apprennent-ils toujours de la même manière (selon les mêmes processus cognitifs) mais en utilisant des outils différents (eux-mêmes en perpétuelle évolution) ? Autrement dit, est-ce la manière d'apprendre qui est

---

[12] Plan numérique pour l'éducation : 500 écoles et collèges seront connectés dès 2015 : http://www.education.gouv.fr/cid88712/plan-numerique-pour-l-education-500-ecoles-et-colleges-seront-connectes-des-2015.html

[13] Le Monde.fr avec AFP | 15.09.2015 à 18h16. Mis à jour le 15.09.2015 à 19h48 | Par Matteo Maillard. En savoir plus sur http://www.lemonde.fr/campus/article/2015/09/15/en-classe-le-numerique-ne-fait-pas-de-miracles_4758368_4401467.html#sp2S1RAjMfqJmlsz.99

modifiée par l'usage de ces technologies ou est-ce uniquement la méthode d'enseignement et / ou les pratiques pédagogiques qui changent ?

Cette question liée à l'efficacité des environnements numériques sur les apprentissages mérite donc encore d'être posée et traitée par la recherche. S'il est vrai que cette dernière a bien progressée dans ce domaine, elle n'a néanmoins pas encore trouvé de réponse suffisamment stable à ce jour pour s'affranchir d'un tel travail d'investigation. Cette question est d'autant plus cruciale que nous nous trouvons en France (et ailleurs) dans un contexte économique difficile et paradoxalement plutôt favorable à l'intégration de ces technologies en éducation. L'investissement des états dans le numérique à l'école reste également un moyen économique efficace pour relancer la croissance. Il s'agit donc d'avancer prudemment sur ces questions, sachant par exemple que « la grande école du numérique » annoncé par le Président Hollande en mai 2015 précède d'un « petit » mois le Forum annuel de l'OCDE dans lequel il est question de traiter de relance économique. Rappelons aussi que pour Angel Gurria, secrétaire général de l'OCDE, « les moteurs traditionnels de l'économie ne suffisent plus à alimenter la croissance mondiale, et qu'il faut l'orienter vers la technologie et vers le développement des compétences »[14]. Dans le même temps, si ces technologies sont susceptibles de *booster* les économies, les vastes plans d'équipement des écoles en technologies éducatives coûtent cher aux Etats et *de facto* aux contribuables. Il est donc plus que légitime d'attendre de la recherche des réponses précises à ces questions d'efficacité cognitives (voire économiques…). Mais la question reste complexe car elle met en jeu une multitude de facteurs influents qui agissent entre eux mais également sur le système lui-même. Une méthodologie qui reposerait en particulier sur *le paradigme de* la *modélisation systémique de la complexité* semble bien adaptée à la situation car l'un de ses objectifs est précisément de faciliter l'analyse des processus en jeu dans ce type d'environnement chaotique à l'aide d'outils spécifiques (Trestini, Rossini, 2016).

C'est donc loin des discours technophiles et technophobes que nous allons à présent traiter de ces questions en observant en particulier dans l'histoire de l'intégration des technologies en éducation ce qui a motivé à chaque fois leur implantation, autrement dit ce qui a justifié leur emploi. Ce regard rétrospectif sur l'évolution des activités instrumentées en éducation prête à ces technologies des propriétés éducatives qui leur seraient inhérentes (Selwyn, 2012). A travers l'histoire de cette intégration, nous chercherons plutôt à montrer que ces technologies n'ont pas inventé de nouvelles façons d'apprendre mais qu'elles ont su se mettre au service des pédagogies, elles-mêmes issues des psychologies cognitives du XXe siècle. En d'autres termes, ces technologies n'ont pas eu d'influence sur les différents courants cognitivistes (c'est-à-dire sur la manière dont on explique comment nous apprenons), mais elles ont su systématiquement s'adapter à leur évolution. Il nous sera ainsi possible de conclure que les TIC ne sont pas à proprement parler des outils cognitifs, mais qu'elles ont un potentiel cognitif, dont l'usage est un facteur important sur l'apprentissage et sur le développement des compétences de l'apprenant » (Depover, Karsenti et Komis, 2009).

Pour le démontrer, revenons dans un premier temps sur l'évolution des technologies éducatives depuis la deuxième moitié du siècle dernier puis, dans un deuxième temps, sur celle des psychologies cognitives durant cette même période pour enfin croiser ces deux regards et observer l'influence de ces évolutions concomitantes sur les processus d'apprentissages et les pratiques pédagogiques. Commençons donc par les technologies éducatives...

---

[14] « Politiques économiques » du 02 juin 2015 « Pour l'OCDE, il faut investir dans la technologie et dans l'éducation » : http://www.challenges.fr/economie/20150602.CHA6431/pour-l-ocde-il-faut-investir-dans-la-technologie-et-dans-l-education.html

2.1.1 Technologies éducatives, TIC, TICE, TUIC ?

De nombreux acronymes ont été et sont encore utilisés pour qualifier ces technologies. D'abord les NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication), acronyme de moins en moins utilisé du fait d'un « N » voulant marquer la nouveauté qui apparaît *a postériori* si évidente qu'elle en devient implicite, puis les TIC (Technologies de l'Information et de la Communication). Elles représentent selon le Larousse « l'ensemble des techniques et des équipements informatiques permettant de communiquer à distance par voie électronique pour l'Enseignement ». Elles ne sont donc pas propres à l'enseignement. Ce n'est qu'en ajoutant le « E » à TIC que ces technologies sont comprises comme intervenant dans un contexte scolaire ou « pour l'enseignement » (TICE). De même, on parle aussi parfois de technologies éducatives, même si cette appellation est plus ancienne.

L'acronyme TUIC (Techniques Usuelles de l'Information et de la Communication) est principalement utilisé dans les programmes de l'éducation nationale. Ce passage des TICE aux TUIC n'est pas anodin ; il veut montrer l'importance que le ministère français accorde aux usages et non plus seulement à la maîtrise des outils informatiques. Ces usages se veulent raisonnés, responsables et pertinents et tous les acteurs de l'éducation nationale sont sensibilisés à ces questions au cours de leur formation que ce soit à l'école (B2i niveau 1), au collège, au lycée (B2i niveau 2), à l'université (C2i niveau 1) ou pour devenir enseignant (C2i niveau 2) à travers une éducation généralisée aux médias.

Rappelons que les TUIC (Techniques Usuelles de l'Information et de la Communication) constituent depuis 2005 le quatrième pilier du Socle Commun de compétences fixant les repères culturels et civiques qui constituent le contenu de l'enseignement obligatoire en France. Nous verrons comment le ministère de l'Education nationale les intégrera dans le nouveau socle commun prévu pour la rentrée scolaire 2016-2017.

2.1.1.1 Les TICE et le monde éducatif

C'est donc avec le plan IPT de 1985 que les TIC ont commencé à irriguer le monde de l'Education. Les raisons qui ont motivé les plans successifs d'équipement sont nombreuses. Le plan IPT devait permettre d'initier les 11 millions d'élèves du pays à l'outil informatique mais également de soutenir l'industrie nationale (Thomson notamment). « Il visait à mettre en place, dès la rentrée de septembre 1985 plus de 120 000 machines dans 50 000 établissements scolaires et à assurer la formation, à la même échéance de 110 000 enseignants. Son coût était évalué à 1,8 milliard de francs, dont 1,5 milliard pour le matériel »[15]. Depuis, les politiques d'équipement se succèdent ; la dernière opération d'envergure, avant la « grande école du numérique » déjà citée, date de 2009. Il s'agit d'un vaste programme d'équipement numérique des écoles rurales d'un budget de 67 millions d'euros. Depuis 1985, les objectifs varient assez peu dans l'ensemble. L'importance que l'on accorde à chacun de ces objectifs en fonction des conjonctures socio-économiques et culturelles est toutefois variable :

- Lutter contre la fracture numérique a été une priorité en 1985 mais cela s'avère de moins en moins vrai aujourd'hui car le taux d'équipement des foyers progresse de manière spectaculaire [16] ;

[15] Plan informatique pour tous. (2015, octobre 11). *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. Page consultée le 13:47, novembre 8, 2015 à partir de http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Plan_informatique_pour_tous&oldid=119398265.

[16] Deux ménages sur trois dispose d'internet en France. En dix ans, la proportion de ménages disposant d'un accès Internet à la maison est passée de 12 % à 76 % en 2011. La fracture numérique tend donc à se réduire mais des différences selon le diplôme et la catégorie sociale demeurent. L'ordinateur est encore le support le plus utilisé, mais de nouveaux moyens d'accès à Internet se développent. L'internet mobile,

- Préparer nos enfants à une société de l'information, une économie de la connaissance. L'école doit préparer à la vie ; il faut donc « s'initier » à l'informatique.
- Maîtriser les outils de communication actuels et du monde professionnel. Acquérir une culture du numérique et développer l'esprit critique face aux dangers de l'internet notamment.
- Mais aussi pour des raisons pédagogiques :
  - Effet sur la motivation (maître et élève) ;
  - Interactivité ;
  - Capacité de produire une réponse immédiate (évaluation instantanée) ;
  - Outil au service de la différenciation pédagogique ;
  - Individualisation des enseignements ;
  - L'erreur est dédramatisée, son statut change ;
  - L'informatique au service des handicaps (dyspraxique, moteur, …)
  - Présentation améliorée des résultats, etc.

2.1.2 Quelles sont précisément ces technologies ?

Lorsque l'on parle de technologies éducatives ou de TICE, de quoi parle-t-on précisément ? S'agit-il d'ordinateur uniquement ? Non bien sûr. La définition des TIC donnée plus haut en témoigne. Ce n'est pas parce qu'elle ne s'applique pas spécifiquement au monde éducatif que le monde éducatif n'utilise pas les mêmes outils. Ces acronymes ont aussi été créés pour éviter cette confusion : il existe dans les TICE toute une panoplie d'outils et de concepts que nous rappelons ici rapidement. En éducation, les premières technologies utilisées ont été la radio scolaire dans les années 1930 suivie de la télévision scolaire dans les années 1950. L'informatique a été introduite dans les années 1970. Le concept de multimédia a fait une percée aussi spectaculaire que controversée en éducation en 1990 environ.

En 1995, un certain nombre d'écoles françaises prennent l'initiative d'une connexion internet. De nombreuses applications « pédagogiques », principalement fondées sur les concepts d'hypertexte et d'hyperpaysage[17], en découlent. Les enseignants commencent à délaisser les mémoires de masse traditionnelles (CD-ROM, DVD, …) au profit des logiciels pédagogiques en ligne. Cette période marque aussi le début de cet engouement pour les didacticiels et les tutoriels accessibles sur le net. En 2002 le web 2.0 fait une percée spectaculaire dans le monde entier. Le monde de l'éducation et de la formation n'est pas en reste. Le web dit dynamique (interactivité sur la page…) ou encore « social » va permettre la communication entre apprenants au sein de plateformes créées pour l'enseignement ou la formation à distance. Une autre forme de socialisation « médiatisée » s'installe peu à peu. Les comportements et les pratiques éducatives changent. La distance apporte des éléments nouveaux dans l'acte d'apprendre et d'enseigner en ligne. Les modalités d'apprentissage en ligne se multiplient et font l'objet d'observations minutieuses de la part des chercheurs en sciences de l'éducation. C'est la montée en puissance du *e-learning*, des plateformes d'apprentissage collaboratives et coopératives en ligne du Web applicatif (espace de travail collaboratif, cartes conceptuelles en ligne).

---

par exemple, fait une percée notable : 24 % des internautes ont déjà surfé en 2010 sur Internet *via* leur téléphone portable contre seulement 9 % en 2008 » d'après l'Insee (Cf. http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=ip1340)

[17] Un hyper paysage est à l'image ce qu'un hypertexte est au texte. C'est un média dans lequel il est possible de naviguer grâce à des zones sensibles (hotspots) qui se comportent comme des liens web internes ou externes.

Puis le tableau blanc interactif (TBI) fait son apparition dans les classes françaises[18]. Ce dispositif allie les avantages d'un écran tactile et de la vidéo projection. Il favoriserait les activités métacognitives et permettrait d'activer des conflits sociaux-cognitifs susceptibles de favoriser les apprentissages selon certains spécialistes (Gilly, 1995). L'opération TBI-PrimTICE a fortement incité les classes primaires à s'équiper de cet outil. Lancée par la Sous-direction des Technologies de l'information et de la communication pour l'éducation (SDTICE) en avril 2004, cette opération a permis à la France de passer d'une dizaine de TBI avant l'opération à environ 2500 TBI à la fin 2007, et 14000 étaient prévus pour la fin de l'année 2008. Le rapport Fourgous, remis à Luc Chatel le 15 février 2010, dresse le bilan de la mission parlementaire « Réussir l'école numérique ». Il fait de l'équipement des établissements en TBI une mesure phare : « Généraliser à 100% des établissements scolaires les tableaux numériques interactifs associés à un ordinateur et à un logiciel de création de séquences pédagogiques multimédias »[19].

Puis les technologies mobiles (téléphone portable, iPod, iPad, smartphone, tablettes, tablet-PC, baladodiffusion (*podcasting*) se sont récemment introduites dans l'enseignement primaire et secondaire, mais aussi dans l'enseignement supérieur. Nous avons d'ailleurs proposé un dispositif innovant de vidéo-cours en pédagogie universitaire qui fait usage d'un tablet-PC. Son objectif était d'améliorer la qualité des cours magistraux mais aussi de permettre la rediffusion des cours en ligne (*podcast*). Ce concept résultant d'une *instrumentalisation* de l'*artefact* « Tablet-PC » au sens où l'entend de Rabardel (1995), a été nommé « Encre numérique » (Trestini, Christoffel, Rossini, 2010).

La géolocalisation couplée à la téléphonie mobile, aux objets connectés et au *cloud* fournira certainement avec le développement du Web 3.0 de nouvelles applications éducatives. Nous avons déjà cité plus haut les applications pédagogiques rendues possibles par le concept de réalité augmentée. Des visites virtuelles de musées en 3D ou de monuments historiques sont désormais à portée de main.

Ces évolutions techniques ne seraient rien si elles n'étaient pas susceptibles d'apporter une plus-value aux apprentissages ou à l'enseignement. Pour tisser intelligemment des liens entre les TICE (sans jeu de mots) et les apprentissages, il faut nécessairement revenir brièvement sur une question de fond : « Comment apprend-t-on ? ».

2.1.3 Et comment apprend-on ?

Qu'est-ce donc qu'apprendre ? Est-ce acquérir un savoir, un savoir-faire, un comportement adéquat (savoir-être) ? C'est certainement un peu tout cela à la fois. Il n'y a donc pas vraiment de consensus sur l'acception du mot « apprendre ». Pour certains, apprendre, c'est acquérir des savoirs, des connaissances et des compétences. La connaissance serait pour eux liée au savoir, la compétence au savoir-faire, l'habileté au savoir-être. Mais si l'on considère qu'apprendre est un peu tout cela à la fois, nous dirons qu'apprendre, c'est acquérir des compétences intrinsèquement constituées de *connaissances (*ou *savoirs), capacités (potentialités)* et *habiletés (ou savoir-faire).* C'est d'ailleurs l'acception scientifique qu'en donne Philippe Perrenoud, professeur en sciences de l'éducation et spécialiste de la notion de compétence. Pour lui, « une *compétence* est la faculté de mobiliser un ensemble de ressources cognitives (savoirs, capacités, informations, etc. [dans etc., il y a « habiletés »]) pour faire face avec pertinence et efficacité à une famille de situations » (Perrenoud, 2000).

---

[18] La société Smart, implantée au Canada, commercialise le premier TBI dès 1991.

[19] Source : http://www.tableauxinteractifs.fr/le-tbi/de-linvention-du-tbi-a-aujourdhui/

Outre l'avantage d'être explicite, cette définition présente également l'intérêt de fédérer des notions qui, articulées entre elles, véhiculent réellement du sens. Revenons un instant sur trois d'entre elles : savoirs, connaissances et capacités, très souvent sujettes à controverses.

Pour le Littré[20] (1967, p.1079), *le savoir* ne s'emploie qu'au singulier et se définit comme « une connaissance acquise par l'étude, par l'expérience ». Le savoir « désignerait une construction *mentale individuelle* qui peut englober plusieurs domaines de *connaissance* » selon l'encyclopédie libre Wikipédia. Et toujours selon cette dernière source, la connaissance se réfère à un *domaine précis extérieur au sujet* : connaissance d'une langue, d'une discipline. Pour Catherine Chabrun, rédactrice en chef du Nouvel Éducateur[21], qui essaie de mettre un peu d'ordre dans la définition de ces termes, c'est exactement le contraire. « Le savoir est une donnée, un concept, une procédure ou une méthode qui existe à un temps donné *hors de tout sujet connaissant* et qui est généralement codifiée dans des ouvrages de référence [...] La connaissance est *indissociable d'un sujet connaissant*. Lorsqu'une personne intériorise un savoir, elle transforme ce savoir en connaissance. Elle « construit » cette connaissance. La même connaissance construite par une autre personne ne sera pas tout à fait la même ». Dans la mesure où les définitions proposées par Catherine Chabrun ne s'opposent pas à celles du Littré (1967, p. 216 et p. 1079), nous les retenons volontiers car elles correspondent davantage à la perception que nous avons de leur signification.

La capacité quant à elle désigne l'axe de développement selon lequel doit progresser le formé, élève ou adulte. Les capacités sont par essence transversales : elles expriment les potentialités d'une personne (d'un sujet), indépendamment des contenus spécifiques de tel ou tel savoir disciplinaire. Elles ne sont pas directement évaluables. Par exemple les capacités :

- à reconnaître : activité de description, d'identification relevant de la logique classificatoire et évidemment de l'observation. Il s'agit aussi de savoir maîtriser différents langages (mathématiques, conventions pour un schéma électrique, …)

- à expliquer : c'est fournir une (des) explications(s) en cherchant l'enchaînement des causes, des effets, en utilisant des théories, lois, principes, modèles, en transférant des procédures de raisonnement déjà vues.

- à éprouver : c'est mettre à l'épreuve, contrôler, recouper. L'esprit critique est mis en œuvre, ainsi que le besoin de vérifier par l'expérience ou par le raisonnement ou par une recherche documentaire, de comparer des procédures expérimentales, des procédés techniques, grouper.

- à réaliser : l'enseignant apprécie ici la qualité de la manipulation, l'efficience de la réalisation ou du montage, l'utilisation correcte des appareils de mesure, des « langages spécifiques » (codes, outils mathématiques), la correction de l'expression écrite.

Retenons que l'important n'est pas tant la définition des mots que nous employons, mais plutôt notre capacité à les définir préalablement avant d'en faire usage dans un développement argumenté tel que celui que nous suggérons de tenir ici. En conclusion, nous pourrions dire

---

[20]. *Littré. Dictionnaire de la langue française*, agrégé du dictionnaire d'Emile Littré de l'académie française par A. Beaujean, Editions de L'Erable, Paris, 1969.

[21]. Catherine Chabrun est rédactrice en chef du Nouvel Éducateur, revue pédagogique du mouvement Freinet. Elle tente de mettre un peu d'ordre dans la définition de ses termes sur son blog de l'ICEM Institut Coopératif de l'Ecole Moderne- Pédagogie Freinet, accessible à l'adresse suivante. Définitions extraites le 25 novembre 2012 de http://www.icem-pedagogie-freinet.org/node/3593

plus simplement « au fil des apprentissages, on devient quelqu'un d'autre, on transforme sa vision du monde et des problèmes. Certains ne s'en rendent pas compte, d'autres vivent fort bien ce changement intellectuel mais aussi identitaire, d'autres encore y résistent vigoureusement » (Perrenoud, 2004).

2.1.4 Modèles de l'apprentissage

Revenons un instant sur les grands modèles d'apprentissage : « Il existe trois grandes traditions en matière de modèles de l'apprendre …» (Giordan, 2001, p. 95).

La première tradition renvoie au modèle « transmissif » : on sait et on transmet à celui qui ne sait pas. C'est la pratique dominante (situation de conférences). « Effectué par un cerveau « vierge » et toujours disponible, l'acquisition d'un savoir est le résultat d'une transmission » (*Ibid.*). C'est un émetteur qui transmet des données à un récepteur. « Dans l'enseignement, c'est la routinière présentation des données, illustrées ou non. Au musée, c'est l'exposition d'objets ou de documents accompagnés de cartels explicatifs » (*Ibid.*).

« La deuxième tradition repose sur un entraînement promu au rang de principe […] L'apprentissage est favorisé par des récompenses (« renforcement positifs » ou des punitions « renforcement négatif »). A travers un tel conditionnement, l'individu finit par adopter le comportement adéquat, celui qui lui évite les renforcements négatifs » (*Ibid.*).

La troisième tradition est dite *interactionniste* ou de *la construction*. « Elle part des besoins spontanés et des intérêts « naturels » des individus […]. Elle met en avant la découverte autonome ou encore l'importance des tâtonnements dans l'acte d'apprendre. L'individu ne se contente plus de recevoir des données brutes, il les sélectionne et les assimile » (*Ibid.*, p. 96).

2.1.5 Des modèles de l'apprendre aux pédagogies

Pour bien comprendre en quoi les technologies peuvent impacter les apprentissages, il faut tout d'abord préciser ce que l'on entend par apprentissage. Lorsque l'on parle de processus d'apprentissage, on ne parle pas de pédagogie ni même de didactique, même si tous ces concepts sont liés. La psychologie cognitive est une science qui cherche à répondre à une question essentielle : comment apprend-on ? La pédagogie est en quelque sorte l'art[22] d'enseigner, c'est-à-dire qu'elle traite des méthodes et des pratiques d'enseignement et d'éducation, ainsi que « toutes les qualités requises pour transmettre un savoir quelconque »[23]. La didactique est encore autre chose : elle porte sur une discipline. On parle de didactique des mathématiques par exemple. Elle s'intéresse principalement au contenu disciplinaire et à sa présentation, à sa transposition également : « un savoir savant en savoir à apprendre ». Dans ce dernier cas, on parle de transposition didactique.

Dès le XXe siècle, on considère que les courants pédagogiques (ou méthodes d'enseignement) sont issus des conceptions de l'éducation, elles-mêmes fécondées par le développement des recherches en psychologie cognitive. Les pédagogies suivraient ainsi le séquencement suivant :

[22] Manière de faire une chose selon certaines méthodes selon certains procédés (définition du Littré, 1967, p. 56, Tome 1).

[23] Source : Encyclopédie en ligne Wikipédia : https://fr.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9dagogie

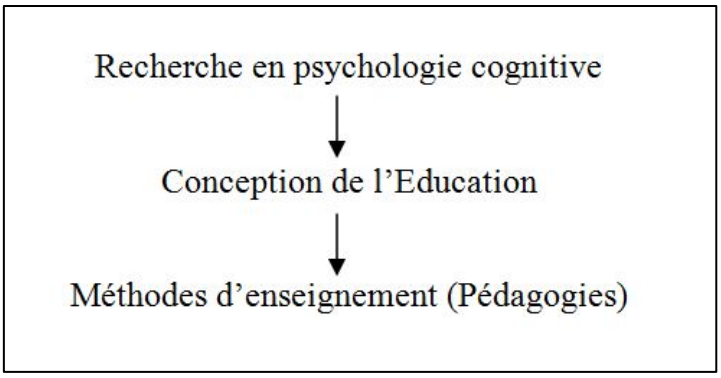


Figure 1. Des psychologies cognitives aux pédagogies.

C'est en partant des différents modèles de l'apprendre (résultats en psychologie cognitive) et en suivant pour chacun d'entre eux cette séquence spécifique que nous allons montrer que les technologies dites éducatives n'agissent pas sur la manière dont nous apprenons. Par contre, à chaque fois que s'est érigé un nouveau modèle de l'apprendre, la question était plutôt de savoir comment la technologie pouvait soutenir les processus cognitifs mis en jeu dans chacun de ces modèles : la radio et la télévision scolaire pour le modèle objectiviste, l'EAO pour le modèle béhavioriste, les micro-mondes pour le modèle constructiviste, etc.

2.1.6 TIC, théories de l'apprentissage et pédagogies : une évolution concomitante

Selon cette thèse, les technologies ne viendraient que renforcer des processus déjà connus et prétendument propices aux apprentissages. Leur « pouvoir » ne serait que d'en faciliter la réalisation, voire d'amplifier certains effets déjà bien identifiés. C'est donc en agissant sur certaines caractéristiques procédurales mises en œuvre au cours d'un apprentissage que la technologie apporterait une plus-value. Elle aurait par exemple la capacité d'accroître la motivation d'un élève ou de susciter encore davantage son intérêt pour une activité donnée. La motivation et l'intérêt sont déjà des facteurs prétendument propices aux apprentissages. La technologie viendrait amplifier ces résultats. La technologie agirait par un effet d'entraînement qui entrerait en résonance avec des effets déjà constatés, et pas forcément de manière directe. Il est par exemple reconnu que la motivation favorise l'apprentissage et que l'usage de certaines technologies favorise la motivation. Ce n'est donc que par « transitivité » que nous affirmons que les technologies favorisent l'apprentissage. Elles ont évidemment d'autres avantages et en particulier d'indéniables vertus « pédagogiques ». Elles facilitent par exemple le travail en autonomie ou jouent un rôle essentiel en pédagogie différenciée en donnant aux élèves la possibilité d'évoluer à leur rythme. Mais là n'est pas notre propos. Nous voulons ici dire précisément qu'elles n'agissent pas sur la manière dont nous apprenons. Elles ne modifient pas notre manière d'apprendre. A l'instar des pédagogies qui ont suivi l'évolution des psychologies cognitives, les technologies ont su s'adapter aux différents modèles de l'apprendre sans jamais les contraindre. Psychologies cognitives, pédagogies et technologies ont donc évolué de manière concomitante. C'est du moins ce que nous avons constaté à force d'étudier, pour les besoins de la recherche, ces environnements numériques d'apprentissage. George-Louis Baron (2011, p. 112) observe d'ailleurs que, de façon remarquable, « les développements d'environnements d'apprentissage informatisés se sont toujours opérés dans le contexte plus ou moins explicite de théories liées à l'apprentissage et à l'instruction ».

Pour appuyer notre propos, croisons les *« modèles de l'apprendre »* (Giordan, 2001, p.95) avec les *modèles pédagogiques* qui en découlent, en portant un regard particulièrement

attentif sur la place qu'occupe dans ces modèles la technologie ; le tout formant bien sûr un système *d'activité instrumentée* qu'il a été possible de *modéliser*.

2.1.7 De l'épistémologie objectiviste à la radio et la télévision scolaire

Les années 60 et 70 étaient dominées par une conception transmissive de l'apprentissage, « fortement imprégnées des théories de la communication (Shannon, Weaver, 1975) qui […] considéraient le média comme une seringue hypodermique, convoyeur inerte diffusant l'information de l'émetteur au récepteur » (Dessus, Lemaire, 1999). On partait du principe que l'enfant ne sait rien sur la connaissance à acquérir. Le rôle de l'enseignant est alors de transmettre le savoir et celui de l'élève est d'écouter attentivement.

2.1.7.1 De l'épistémologie objectiviste à la pédagogie transmissive

Ce modèle est fondé sur une conception « objectiviste » de l'apprentissage qui remonte au milieu des années 1950. L'objectivisme défend l'existence d'une connaissance du monde qui existe en dehors du sujet pensant. « Le but de l'apprenant c'est de se l'approprier en vue de la répliquer, le but de l'enseignant c'est de la transmettre. L'apprentissage consiste donc à assimiler cette réalité objective »[24]. C'est donc une épistémologie selon laquelle l'activité de l'apprenant se limiterait à assimiler le savoir transmis par des experts. La mémoire est en l'occurrence décrite « comme un réceptacle dans lequel viennent s'accumuler des connaissances » (Depover & *al.*, 2009 p. 21). L'élève est pratiquement passif pendant la phase d'enseignement. De cette conception de l'enseignement est née la *pédagogie frontale* dans laquelle le maître, face à l'élève, dispense le savoir par le cours magistral. Le modèle pédagogique qui en résulte s'apparente au modèle shannonien : un émetteur (celui qui sait) qui transmet les données à un récepteur (celui qui ne sait pas).

2.1.7.2 De la pédagogie transmissive à la radio et télévision scolaire

C'est alors que la radio et la télévision scolaire ont fait leur apparition en éducation, en répondant parfaitement au modèle d'enseignement de cette époque. Pendant longtemps, l'enseignement des jésuites a constitué un exemple de cette conception intellectualiste, dans laquelle la connaissance est simplement transmise. L'enseignement transmissif existait bien avant la radio scolaire. Les frères Lassaliens par exemple ne cessaient de vanter (depuis 1680) les mérites d'une approche transmissive de l'enseignement pour permettre au plus grand nombre de fréquenter l'école. Ici, ce ne sont ni la radio ni la télévision scolaire qui ont été à l'origine de cette conception de l'enseignement mais plutôt une idée répandue à l'époque selon laquelle l'esprit humain naîtrait vierge de toute connaissance ; une conception de l'enseignement fondée sur le modèle *tabula rasa* en quelque sorte. Et pourtant, la transmission radiophonique et télévisuelle de la connaissance était parfaitement adaptée à cette conception de l'enseignement. Elle a d'ailleurs permis « techniquement » d'augmenter considérablement l'écoute de contenus éducatifs. C'est en ce sens que nous disions que la technologie a contribué à favoriser l'apprentissage sans modifier la manière d'apprendre. Il aurait été très difficile en effet, voire même impossible, de faire entendre « la voix de la connaissance » à cette échelle sans la technologie.

---

[24] Kozanitis, A. (2005, p.5) Bureau d'appui pédagogique, Septembre 2005 École Polytechnique http://www.polymtl.ca/bap/docs/documents/historique_approche_enseignement.pdf

2.1.7.3 De la pédagogie transmissive au multimédia

Puis, avec l'arrivée du multimédia qui véhicule, en les combinant, du texte, des images fixes et animées, du son, la technologie s'est alors enorgueillie d'apporter une « véritable plus-value » aux apprentissages. Dessus et Lemaire (1999, p.1) nous apprennent que de là sont nées de nouvelles théories. « Ces théories ont été qualifiées d'additives par Clark et Craig (1991) — où plus égale mieux —, elles sont peu souvent validées empiriquement et s'appuient rarement sur un modèle cognitif de l'apprentissage ».

En note de bas de page, ces auteurs précisent que « Rogers et Scaife (1995) recensent ces théories du "plus égale mieux" qui, pour eux, appartiennent au folklore. En voici quelques-unes :

- des images fixes et des diagrammes sont plus efficaces que des représentations verbales ;
- des représentations 3D sont plus efficaces que des représentations 2D ;
- les images couleurs sont plus efficaces que des images en noir et blanc ;
- l'hypermédia est plus efficace que le média séquentiel ;
- le multimédia est plus efficace que le média unique ;
- la réalité virtuelle est plus efficace que le multimédia » (Ibid., p.2).

2.1.8 Du béhaviorisme à l'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO)

Egalement appelé modèle du conditionnement, le behaviorisme est *comportementaliste*. C'est une approche psychologique « qui met l'accent sur l'étude du comportement observable [du sujet] et du rôle de l'environnement en tant que déterminant du comportement » (Tavris et Wade, 1999, p.182 Elle ne s'intéresse donc qu'aux *inputs* et *output* et non pas au système cognitif, en considérant ce dernier comme une « boîte noire » (Raynal, Rieunier, et Postic, 1997). Le principe qui justifie ce choix est qu'il n'est pas possible de connaître précisément les processus internes qui agissent à l'intérieur du cerveau. Le béhaviorisme s'en tient donc à l'étude des comportements qui s'appuie sur l'expérimentation et les choses observables et mesurables (stimulus et réponse) afin de comprendre l'apprentissage. On résume souvent le behaviourisme par le schéma simple suivant :

Stimulus ——— Cerveau ——— Réponse

« La tâche du psychologue [ce sera le cas en particulier de Skinner] devenait alors celle d'étudier les *contingences de renforcement,* c'est-à-dire les relations entre stimuli discriminatifs, réponses et renforcements » (De Lannoy et Feyereisen, 1999, p.15). Avant d'en discuter les caractéristiques, revenons un instant sur le conditionnement pavlovien qui implique des stimulations, à la fois externes et internes[25], auxquelles l'organisme est soumis.

[25] « De manière générale, apprendre consiste à acquérir des connaissances quant aux relations entre les évènements qui constituent pour l'organisme les stimulations (externes et internes) auxquelles il est soumis ou qu'il engendre lui-même ses réponses. Dans cette perspective, l'apprentissage implique une *représentation interne de ces* « événement ». […] … si le chien de Pavlov salive au son de la cloche, c'est parce qu'il « sait » que ce son précède la venue de la nourriture » (De Lannoy et Feyereisen, 1999, p.15).

2.1.8.1 Les réflexes conditionnés : Pavlov (1849-1936)

Pavlov obtint en 1904 le Prix Nobel pour ses recherches sur le réflexe de salivation. Il construisit un dispositif expérimental dans lequel il attacha un chien à un châssis. Régulièrement, et précédant la distribution de la pâtée, une sonnerie retentit peu de temps avant. Après plusieurs essais, Pavlov constate que lorsque la sonnerie est activée, le chien commence à saliver. « Ces réflexes peuvent s'apparenter à une réaction involontaire, non innée, provoquée par un signal sonore extérieur. Pavlov a développé la théorie selon laquelle les réactions acquises par apprentissage et habitude deviennent des réflexes lorsque le cerveau fait les liens entre le signal sonore et l'action qui suit »[26].

2.1.8.2 Le conditionnement opérant : Skinner (1904-1990)

La conception de Pavlov a ensuite été reprise et développée par ses disciples. Parmi eux, Watson (1972), influencé par les travaux du physiologiste Pavlov sur le conditionnement des animaux, formule la théorie psychologique du *stimulus-réponse* (ou conditionnement classique). Skinner (1995), très proche de la conception pavlovienne, propose une psychologie ne faisant référence ni à la physiologie ni à des événements qualifiés de « mentaux » comme les représentations ou les attentes » (De Lannoy et Feyereisen, 1999, p. 18).]. Il se concentra en outre sur l'étude des relations de cause à effet qui pouvaient être établies par l'observation en s'élevant « contre toute introduction de variables intermédiaires, qu'elles fussent de nature cognitive ou motivationnelle » (*Ibid.*, p.15). Il reprit donc la théorie de Pavlov en l'appliquant à l'apprentissage selon une focale particulière : le *renforcement* de la *réponse* du sujet apprenant. Il s'agit de donner une récompense (et non plus une punition) au sujet apprenant dès l'instant où celui-ci a effectué l'action attendue. Par exemple, si un animal actionne une pédale, la nourriture qui va tomber dans sa cage par l'action de la pédale est un renforçateur. En partant de ce concept, Skinner s'est ensuite intéressé aux contingences de renforcement. Il chercha « à montrer la possibilité de rendre compte de l'*occurrence* de tout comportement à partir des concepts de *stimulus*, *réponse*, *renforcement* » (*Ibid.*, p. 15). « Ce programme peut paraître peu enthousiasmant pour la psychologie et les « skinnériens » apparaissent quelquefois comme une chapelle se concentrant à des variations sur un même thème, publié dans une revue propre à celle-ci. Leur mérite est d'offrir souvent des explications plus simples (et que l'on doit donc préférer) que celles des cognitivistes » (*Ibid.* p. 18). Skinner introduit aussi le concept de *maintien de la satisfaction* (par la récompense) et découvre un processus qui *positive* l'apprentissage : stimulus, réponse, récompense (en cas de bonne réponse), renforcement. Le renforcement est ici une stabilisation de la chose apprise par répétition d'une réponse correcte donnée. « Du point de vue de l'enseignement, le béhaviorisme considère [donc] l'apprentissage comme une modification durable du comportement résultant d'un entraînement particulier. Il part du principe que l'acquisition des connaissances s'effectue par paliers successifs. Le passage d'un niveau de connaissance à un autre s'opère par des renforcements positifs des réponses et comportements attendus » (Chekour, Laafou et Janati-Idrissi, 2015).

2.1.8.3 Du béhaviorisme à l'enseignement programmé

Des travaux de Skinner naîtra une nouvelle conception de l'enseignement appelé l'*enseignement programmé* (ou programme linéaire).

---

[26] Réflexe de Pavlov. (2015, décembre 18). Wikipédia, l'encyclopédie libre. Page consultée le 09:45, décembre 24, 2015 à partir de http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%A9flexe_de_Pavlov&oldid=121418563

Le type de leçon programmée suivant, conçu par Skinner lui-même, constitue la plus orthodoxe des adaptations des principes ou idées évoqués jusqu'ici (Poczrar, 1971, p.55). Il prévoit l'individualisation de l'apprentissage à travers un découpage du contenu en micro-étapes faciles à franchir. En voici un exemple (Figure 2) qui consiste à apprendre à orthographier correctement le mot « aérodynamique ».

PREMIER EXEMPLE LINÉAIRE [1]

Quelques « cadres » visant à enseigner à des enfants de 3e ou 4e année primaire à orthographier le mot « aérodynamique ».

1 AÉRODYNAMIQUE veut dire : bien profilé, pour offrir peu de résistance à l'air. Les voitures modernes ont une ligne aérodynamique.
Copiez le mot ici :

. . . . . .

2 Une partie du mot se trouve dans DYNAMISME. Dans les deux cas, elle provient du mot grec qui veut dire « force ».
A É R O . . . . M I Q U E

3 Une partie du mot se retrouve dans AÉROPLANE. Elle veut dire « air ».
. . . . D Y N A M I Q U E

4 Les deux espaces vides correspondent à une même lettre.
. É R O D Y N . M I Q U E

5 Les deux espaces vides correspondent à un même son mais qui s'écrit de façon différente.
A É R O D . N A M . Q U E

6 Les voitures modernes ont une ligne :

. . . . . .

Figure 2. Exemple de fiche pour apprendre à écrire le mot « aérodynamique » (Poczrar, 1971, p. 55)

2.1.8.4 De l'enseignement programmé à la machine à enseigner

La pédagogie qui peut être rapprochée de ce modèle est celle qui introduit, dans les situations d'enseignement-apprentissage, des exercices autocorrectifs qui traitent automatiquement les réponses de l'apprenant et lui renvoient un résultat ou une remarque jusqu'à ce qu'il trouve la bonne réponse. Ce traitement est généralement pris en charge par des *automates*. Le premier d'entre eux a probablement été *la machine à enseigner* proposées par Skinner lui-même. L'hypothèse émise est que le savoir peut être dispensé par un enseignant ou une machine, puisqu'il s'agit d'un contenu préprogrammé que l'on cherche à transmettre. Concrètement, ces machines (ou automates) permettent de réviser voire d'approfondir certaines notions. Le dispositif proposé par Skinner « ne comporte pas de clavier, l'élève écrit sa réponse sur un rouleau de papier à travers la fenêtre aménagée à cet effet. Une fois la réponse inscrite, la pression sur le levier entraîne le rouleau de papier et fait glisser la réponse en dessous d'un cache transparent. Parallèlement, dans la fenêtre ayant servi à présenter la situation

d'apprentissage, la réponse exacte apparaît de sorte que l'élève puisse évaluer sa réponse en la comparant à la réponse correcte qui lui est proposée »[27].

2.1.8.5 L'enseignement assisté par ordinateur (EAO)

L'EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) a succédé à la machine à enseigner de Skinner en proposant l'assistance d'ordinateurs et de logiciels spécifiques : *les tutoriels et exerciseurs* (série d'exercices d'entraînement).

L'ordinateur et son logiciel apportent :

- une liaison plus étroite entre les informations données et la vérification de la compréhension par l'exercice ;
- une information plus précise et plus immédiate en cas d'erreur ;
- une progression plus adaptée au rythme de l'apprenant.

Les tutoriels et exerciseurs apparaissent donc comme des artefacts parfaitement adaptés aux principes behavioristes de l'apprentissage en jouant notamment sur leur faculté à réduire considérablement les délais entre la réponse donnée par l'apprenant et le renforcement délivré en retour par l'enseignant. Ces exerciseurs et plus généralement les dispositifs d'EAO permettent ainsi de faire acquérir et de renforcer certains automatismes aux apprenants en jouant un rôle de soutien et d'approfondissement.

Là encore, la technologie vient soutenir et renforcer des conceptions de l'apprentissage bien établies sans faire infléchir les épistémologies dont elles sont issues.

2.1.9 Du constructivisme aux micro-mondes

Ce modèle est issu des recherches de Jean Piaget (1925) qui, contrairement au modèle précédent, considère que l'on peut étudier ce qui se passe dans le cerveau. Piaget pense que la connaissance se construit : notre cerveau se développe en même temps que notre corps et nous assimilons des connaissances issues de notre expérience de découverte de l'environnement. « Les constructivistes croient que chaque apprenant construit la réalité, ou du moins l'interprète, en se basant sur sa perception d'expériences passées. Selon eux, la connaissance ne consiste pas en un reflet de la réalité telle qu'elle se présente, mais en une construction de celle-ci. Cela dit, les constructivistes ne rejettent pas l'existence du monde réel pour autant. Ils reconnaissent que la réalité impose certaines contraintes sur les concepts, mais soutiennent que notre connaissance du monde se fonde sur des représentations humaines de notre expérience du monde » (Kozanitis, 2005, p. 5).

Ainsi, la théorie de Piaget est fondée sur l'idée qu'on construit ses connaissances à partir de la reconceptualisation d'expériences vécues. L'école piagétienne de Genève emprunte à la biologie de l'évolution (Darwin) les concepts d'*assimilation* et d'*accommodation* (Giordan, 1999, p. 97) pour expliquer par quel processus opère cette auto-construction. « Tout organisme assimile [rend semblable] ce qu'il prend de l'extérieur à ses propres structures, y compris les informations récupérées par ses perceptions » (*Ibid.* p. 98). C'est l'intégration progressive des objets nouveaux aux schèmes existants qui constitue le processus

[27] « Introduction à la Technologie Educative » : syllabus écrit par Christian Depover (2001, partie 2) dans le cadre L'Unité de Technologie de l'Education (UTE) qui est un service de l'Université de Mons-Hainaut (UMH) spécialisé dans le domaine de la technologie éducative. Accédé sur le site TECFA de la faculté de psychologie et des sciences de l'Education (FPSE) de l'Université de Genève : http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/staf11/0304/basespsychopeda.pdf

d'assimilation. Pour Piaget (1969, p.45) « les connaissances dérivent de l'action, non pas dans le sens de simples réponses associatives [en référence au béhaviorisme], mais en un sens beaucoup plus profond qui est celui de l'assimilation du réel aux coordinations nécessaires et générales de l'action. Connaître un objet c'est agir sur lui et le transformer, pour saisir les mécanismes de cette transformation en liaison avec les actions transformatrices elles-mêmes. Connaître c'est donc assimiler le réel à des structures de transformations, et ce sont les structures qu'élabore l'intelligence en tant que prolongement direct de l'action ».

« Ce processus s'accompagne en retour d'une *accommodation*, c'est-à-dire d'une modification des organes sur le plan biologique ou des instruments intellectuels sur le plan cognitif. Si le sujet veut assimiler un savoir il doit être capable d'accommoder en permanence son mode de pensée aux exigences de la situation » (Giordan, 1999, p.98).

L'image des plaques tectoniques qui bougent sous la surface de la Terre est une métaphore assez proche de la façon dont Piaget envisage l'apprentissage : notre cerveau est constitué de schèmes (les plaques) qui sont bousculés, dérangés par l'assimilation d'un nouveau savoir et qui se stabilisent en intégrant cette nouvelle donnée à notre système de compréhension. « Un schème est la structure ou organisation des actions telles qu'elles se transforment ou se généralisent lors de la répétition de cette action en des circonstances semblables ou analogues » (Piaget, J. et Inhelder, B., 2004, p.11). L'apprentissage se réalise donc nécessairement par l'action et cette théorie trouve son application en pédagogie dans le fait de proposer aux apprenants des activités qui les amènent à réfléchir, à développer leur pensée critique et donc à faire évoluer les schèmes de leur système de compréhension.

2.1.9.1 Du constructivisme aux pédagogies actives (auto-structuration simple)

Les méthodes dites « actives » dans le cadre scolaire et un certain nombre de lieux d'investigation sont construits sur ce modèle constructiviste de l'apprentissage. Elles sont fondées sur les besoins et les initiatives des élèves. Selon Cousinet, « les méthodes actives sont des instruments non d'enseignement mais d'apprentissage, qui doivent être mis exclusivement entre les mains des élèves : qui les introduit dans sa classe accepte de ne pas s'en servir et renonce pour autant à enseigner »[28]. Le cours magistral laisse donc place au travail de groupe. Le statut de l'enseignant change. Il passe de celui de *diffuseur* de savoir à celui de *constructeur* de situations d'apprentissages ; situations au cours desquelles les élèves émettront des hypothèses dès qu'ils seront confrontés à de nouvelles situations-problèmes. Ils proposeront alors un protocole expérimental visant à valider ou invalider les hypothèses émises. « L'école nouvelle » regroupe l'ensemble des pédagogues novateurs qui, avec des techniques très diverses, ont expérimenté ces méthodes : Montessori, Ferrière, Cousinet, Freinet, Dewey, Kerschensteiner, etc. Faisant suite aux méthodes intuitives de Pestalozzi et de Frœbel, ces méthodes dites « actives » conduisent l'enseignant à concevoir des activités vivantes dont les actions s'inscrivent dans la réalité. L'accent est mis « sur l'aspect actif de son enseignement, sur ses efforts pour que l'enfant acquière par lui-même, en suivant ses curiosités, en développant librement ses activités, les aptitudes, les connaissances et les notions indispensables » (Leif et Rustin, 1970, p. 307).

2.1.9.2 Des pédagogies actives aux hypermédias, micro-mondes, journal scolaire, …

L'enseignant qui pratique ces méthodes pédagogiques doit donc offrir à l'apprenant un *environnement* dans lequel il explore et découvre par lui-même des domaines abstraits grâce à

[28] Dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation: 3ème version publié par Philippe Champy et Christiane Etévé, Editions Retz/S.E.J.E.R, 2005, p. 228.

son activité personnelle. Seymour Papert, longtemps collaborateur de Piaget, a été un des premiers à se demander comment pouvait intervenir l'ordinateur dans cette démarche constructiviste. Pour lui, le temps de l'apprentissage programmé issu du béhaviorisme était révolu. L'enfant devait être au centre de ses apprentissages, acteur de la construction de ses connaissances. Il remarque à ce sujet que « dans bien des écoles aujourd'hui, *enseignement assisté par ordinateur* signifie que l'ordinateur est programmé pour enseigner à l'enfant. On pourrait dire que l'ordinateur sert à programmer l'enfant. Dans ma vision des choses [dit-il], l'enfant programme l'ordinateur et, ce faisant, acquiert la maîtrise de l'un des éléments de la technologie la plus moderne et la plus puissante, tout en établissant un contact intime avec certaines des notions les plus profondes de la science, des mathématiques, et de l'art de bâtir des modèles intellectuels » (Papert, 1981, p.15).

Concrètement, les environnements informatiques qui permettent cette rencontre sont des hypermédias qui offrent à l'apprenant un espace d'exploration et des micro-mondes qui lui fournissent de quoi découvrir des domaines abstraits. Dans ce contexte, Papert cherche à fournir aux élèves des outils intelligents, tel un langage de programmation, pour leur faire découvrir des domaines abstraits. Pour lui, « l'ensemble des outils conceptuels nécessaires à l'élaboration d'un domaine scientifique doit être organisé. Papert le nomme « micromonde » (*microworld*) ». Papert ajoute « qu'il faut que les enfants disposent d'un objet doté de propriétés spécifiques, en matière de mouvement, par exemple, autour duquel ils vont progressivement cristalliser une culture dans un champ donné.[…] L'objet qui aide les enfants est par exemple une petite flèche qui se promène sur un écran d'ordinateur. De là naîtra la célèbre tortue de Papert et le langage logo » (Perriault, 1983, p. 94). Le LOGO était donc initialement destiné à enseigner la programmation aux enfants de 10 à 12 ans : c'est l'enfant qui programme l'ordinateur et non le contraire, comme le souhaitait Papert. Le plus populaire des micro-mondes ayant succédé au logo (en perte de vitesse aujourd'hui depuis sa création en 1972) a été l'environnement *Squeak* qui est un environnement de programmation dynamique, écrit dans le langage *Smalltalk*. Puis des logiciels comme par exemple *Cabri Géomètre* pour les élèves du primaire ou *GeoGebra* pour ceux du secondaire ont succédé à *Squeak*. Ces environnements sont probablement les micromondes les plus actuels du système éducatif français. Ce sont des environnements numériques d'apprentissage de la géométrie où l'élève peut facilement construire des figures en faisant intervenir toutes sortes de notions comme la perpendicularité, le parallélisme, la tangence, etc. « …le logiciel favorise la mise en œuvre de procédures de caractère analytique dans la reproduction ou la construction de figures géométriques… L'obligation de communiquer au logiciel un procédé géométrique de construction permet ainsi de caractériser l'objet géométrique… » (Bellemain et Capponi, 1992).

On constate une fois encore que l'objectif visé n'était pas de trouver impérativement aux nouvelles technologies des applications dans le monde de l'éducation, mais plutôt de partir des démarches pédagogiques existantes (ici des pédagogies actives) et de s'intéresser à la manière dont elles pouvaient intervenir utilement dans ces démarches. Comme le dit Perriault (1983, p. 94) : « Papert ne part pas de l'usage de la machine pour aboutir à des effets pédagogiques, mais, dans le sens inverse, il propose une théorie de l'acquisition des connaissances et débouche sur un emploi de la machine qui est cohérent avec elle ». Le but réellement recherché en utilisant ces outils était d'offrir aux enfants « un grand espace de liberté, facilement accessible, et dans lequel ils pourront exprimer leurs idées et en explorer les conséquences »[29]. Les élèves ont ainsi la possibilité d'exprimer leurs propres représentations des phénomènes perçus tout en ayant la possibilité de les tester dans des

[29] Micromonde (2016, mise à jour 6 janvier). Dans *Wikipédia*. Récupéré de : http://fr.wikipedia.org/wiki/Micromonde.

environnements numériques construits à cette fin. Ces environnements leur renvoient en retour des informations qui tranchent avec leurs représentations initiales tout en agissant sur elles. De nouveaux modèles de représentations se construisent ainsi à travers ce processus itératif qui n'est autre qu'un processus *d'apprentissage*[30]. De *l'ordinateur-outil*, on passe à *l'ordinateur-médiateur*, qui permet aux élèves d'exprimer leurs représentations des phénomènes perçus, et d'agir en retour sur ces modèles de représentations, en les faisant éventuellement évoluer vers un état de connaissance supérieur.

Bien d'autres « technologies » ont par ailleurs démontré leur capacité d'adaptation aux pédagogies actives. Citons par exemple la réalisation et la publication, par les élèves, d'un *journal scolaire* à l'aide d'un logiciel de PAO (Publication Assisté par Ordinateur). Cette activité relève bien de la pédagogie dite « active » et en particulier de la pédagogie dite « de projet » chère à Dewey. « Le projet [selon cette acception] entraîne un travail d'élaboration suivant un plan, une étude des conditions, une anticipation intellectuelle des conséquences » (Leif et Rustin, 1970, p. 134). L'ordinateur n'est pas à l'origine du projet pédagogique, il vient seulement le soutenir en facilitant la tâche de l'élève. Bien avant l'usage de l'ordinateur à l'école, Freinet avait déjà invité ses élèves à utiliser l'imprimerie pour publier les textes qu'ils écrivaient. Les enfants étaient alors stimulés par « la perspective de voir leur texte imprimé dans *le journal de l'école*, répandu parmi les abonnés de l'entourage, et même au loin par les échanges interscolaires […] Ainsi sont nés des contes, des récits, des poèmes d'enfants illustrés par les enfants, que Freinet n'a pas été peu fier de publier dans les petites brochures qu'on appelle « Enfantines » et qui peuvent servir de livre de lecture » (*Ibid.*, p. 311). L'ordinateur n'a fait que remplacer l'imprimerie introduite dans la classe par Freinet.

2.1.10 Du socioconstructivisme aux CLE, CSCL, cMOOC

Contemporain de Piaget, Vygotski a élaboré une théorie interactionniste qui rend l'apprentissage tributaire des interactions sociales. C'est en effet dans l'environnement social que se trouvent « les traces culturelles des conquêtes intellectuelles et technologiques réalisées par les hommes au cours de leur histoire » (Crahay, 2001, p.145). Pour Vygotski, « l'acquisition des fonctions mentales supérieures dépend à la fois des échanges sociaux que peut avoir l'individu à travers le langage et de la transmission, de génération en génération, du patrimoine culturel qui caractérise une société donnée à un moment donné de son histoire »[31]. C'est sans doute pour cette raison que cette théorie a été qualifiée par Vygotski d'historico-culturelle (du psychisme). C'est à partir de cette théorie qu'ont été élaborées de nouvelles conceptions de l'apprentissage comme le « socioconstructivisme » par exemple. Celui-ci est postérieur au constructivisme piagétien et à la théorie historico-culturelle de Vygotski. Il est un prolongement de cette dernière et vise à montrer que les interactions sociales entre pairs permettent d'agir sur le développement cognitif. On doit, en particulier à Doise et Mugny (1981 ; 1997) cette introduction du social au constructivisme piagétien ainsi que les travaux qui en résultent.

Le socioconstructivisme introduit donc une dimension nouvelle : on apprend mieux au contact des autres et en échangeant nos expériences avec eux. Une phrase traditionnellement associée à Vygotski est que « ce que l'enfant sait faire aujourd'hui en collaboration, il saura le faire tout seul demain » (Vygotski, 1997, p. 355). Il introduit donc la médiation, c'est à dire le dialogue

---

[30] Si tant est que l'on s'en tienne à la définition qu'en donne Grégory Bateson (1977, p. 303). Pour lui, « le mot *apprentissage* indique indubitablement un changement, d'une sorte ou d'une autre ».

[31] *op. cit.*, Depover, (2001, partie 5) : http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/staf11/0304/basespsychopeda.pdf

avec l'autre (un autre apprenant, un expert, un enseignant…) comme un paramètre déterminant dans le processus d'apprentissage.

2.1.10.1 Du socioconstructivisme aux pédagogies actives et collaboratives

D'un point de vue pédagogique, l'on retrouve bien chez Vygotski cette même volonté d'accompagner les enfants vers l'autonomie par l'action, mais l'emphase porte cette fois sur le « faire ensemble » en privilégiant notamment les activités collaboratives.

Selon cette conception, le rôle de l'enseignant est donc de favoriser des situations dans lesquelles l'enfant est acteur de ses apprentissages mais aussi dans lesquelles il est en interaction sociale avec ses pairs. Ces situations doivent l'inciter à verbaliser, à expliciter la façon dont il s'y prend pour faire une chose et à la comparer aux stratégies des autres. « L'apprentissage avec autrui crée les conditions chez l'enfant de toute une série de processus de développement, lesquels ne se produisent que dans le cadre de la communication et de la collaboration avec les adultes ou avec les pairs, mais qui deviendront après coup une conquête propre de l'enfant » (Vergnaud, 2000, p. 23). Lev S. Vygotski propose donc un troisième modèle des rapports entre développement et apprentissage. Contrairement à Piaget, il reconnaît qu'il existe bien une logique du développement à respecter mais considère que les apprentissages doivent anticiper le développement à l'intérieur d'une zone qu'il nomme : *zone proximale de développement.* Il la définit lui-même « comme ce que l'enfant sait faire avec l'aide d'autrui et qu'il ne sait pas faire tout seul » (*Ibid.*, p. 22) en ajoutant en outre que « chaque fonction psychique apparaît deux fois au cours du développement de l'enfant : d'abord comme activité collective, sociale et donc comme fonction interpsychique, puis la deuxième fois comme activité individuelle, comme propriété intérieure de la pensée de l'enfant, comme fonction intrapsychique » (Schneuwly et Bronckart, 1985, p.111).

Ainsi, Jean Piaget a une conception biologique de l'apprentissage dans un mouvement conduisant la pensée de l'individuel au social et Lev S. Vygotski a une conception sociale de l'apprentissage, dans un mouvement conduisant la pensée du social à l'individuel (Astolfi, 2001, p. 108).

Et puisque les interactions entre pairs en situation de résolution de problèmes jouent, selon cette conception, un rôle crucial dans la construction des connaissances. L'enseignant doit non seulement favoriser le travail de groupe et la communication mais aussi reconnaître l'importance de la relation d'aide et de la médiation.

2.1.10.2 Des pédagogies actives et collaboratives aux CLE, CSCL, cMOOC

L'hypothèse selon laquelle les connaissances sont acquises et produites socialement a profondément modifié la manière de concevoir et d'exploiter les environnements numériques d'apprentissage (ENA) destinés à l'activité[32] ou l'enseignement à distance (EAD).

A ses débuts (i.e. dans les années 1990), l'EAD adoptait en effet des modalités d'enseignement fondées sur le *modèle transmissif* et dépourvues de toute possibilité de communication sociale entre pairs. Son fonctionnement était calqué, tout au moins en France, sur le modèle épistolaire du CNED, avec pour seule différence que les contenus des cours transitaient par voie électronique plutôt que par voie postale. Les réseaux numériques

[32] Nous entendons par activité à distance celles qui utilisent les technologies pour communiquer (e.g. la visio-conférence, défis-lecture, ...) ou pour faciliter les échanges entre les acteurs de la vie scolaire (e.g. le cahier de texte en ligne) ou encore les échanges culturels (e.g. e-Twinning). L'enseignement à distance quant à lui est entendu sous ses différentes formes (EAD, FAD, FOAD, voir même MOOC) ; ces derniers nécessitant l'usage de plateformes dédiées.

n'étaient alors utilisés que pour faciliter leur transmission et diminuer le temps d'acheminement des devoirs. Cela a eu pour conséquence d'élever le nombre « de décrocheurs » en comparaison de ce que l'on pouvait enregistrer dans l'enseignement classique, c'est-à-dire en présentiel. A cette époque, Jacquinot (1993, p. 57) considérait déjà que le concept de distance s'était diversifié avec le temps. Cette distance pouvait être « à la fois spatiale, temporelle, technologique, mais aussi psycho-sociale…».

De ce constat, des plateformes de formation à distance ont été depuis conçues et réalisées à partir du modèle socioconstructiviste pour précisément recréer le lien social que la distance avait jusqu'alors rompue. L'idée du socioconstructivisme appliqué à l'enseignement à distance était de fournir aux apprenants de l'information pertinente et un espace de communication (synchrone et asynchrone) pour faciliter la collaboration autour de situations de résolution de problèmes. Selon Gilly (1995), « les possibilités d'interaction interpersonnelles à distance permettent de mettre en évidence des conflits sociocognitifs supposés faciliter l'acquisition de connaissance ».

Plus généralement, « les valeurs associées au constructivisme et les principes d'apprentissage issus du courant cognitiviste posent les assises de l'apprentissage collaboratif, à savoir la reconnaissance de la multiplicité des représentations et des connaissances, qui trouvent leur viabilité par l'ancrage social et culturel ; l'interaction entre les pairs et avec le formateur ; la négociation et la validation des connaissances ; la réflexivité cognitive et sociale ; la reconnaissance de la dimension individuelle du processus d'apprentissage ; et la primauté à accorder à la coordination des processus collectifs » (Henri & Lundgren-Cayrol, 2001, p. 23).

« Avec le temps, la production des connaissances passe progressivement des disciplines traditionnelles à une appropriation distribuée du savoir dans des tout nouveaux contextes sociaux. De nouvelles formes d'organisation délocalisées, déterritorialisées émergent et accompagnent ces changements. Les intranets, extranets, les communautés virtuelles d'apprentissages coopératifs tendent à perdurer à travers de vastes réseaux de mémoire dont les connaissances sont rendues accessibles universellement dans de nouvelles configurations dynamiques » (Harvey et Lemire, 2001, p. 28).

Donc, à l'opposé de l'enseignement à distance traditionnel (fortement guidé par un formateur), nous avons vu se développer, dans les années 1995, des « formes nouvelles » d'enseignement à distance sans contrôle centralisé (le formateur devient un guide au sein d'un groupe d'apprenants). Ces formations sont nées de la conjonction de trois facteurs : (i) les bénéfices que l'on peut tirer des théories de l'apprentissage que nous venons d'évoquer ; (ii) les possibilités offertes par l'Internet ; (iii) le besoin nouveau de résolution de problèmes complexes dans les organisations. Elles utilisent donc conjointement les outils propres au travail collaboratif et/ou coopératif et aux technologies distribuées. Ces dernières tendent à réduire le concept d'espace en rapprochant cognitivement les divers acteurs impliqués. S'articulant autour d'un système multi-agents, elles offrent la possibilité de distribuer de la connaissance et s'appliquent à des situations en réseaux qui proposent des solutions en termes de partage, de collaboration et de coopération. Ces technologies permettent dans la réalisation d'un but commun motivé (autour d'un projet, d'une tâche à accomplir) l'intégration au sein même d'une base de connaissance, de l'expertise, des compétences et des connaissances individuelles. La base ainsi construite entraîne des commentaires, des réactions et des ajustements qui l'enrichissent à nouveau. On voit dans ce processus un effet rétroactif où des savoirs singuliers nourrissent la base de connaissance, laquelle (savoirs collectifs) favorise, en retour, l'apprentissage individuel. Ce processus d'appropriation dynamique de connaissances est communément appelé apprentissage distribué. Il repose sur le concept *de cognition distribuée (distributed cognition)* qui « s'intéresse à la structure des connaissances (aux représentations) et à leur transformation. Il se démarque des modèles traditionnels issus des

sciences cognitives par le fait que l'objet d'étude ne se trouve plus uniquement dans la tête des sujets mais inclut les processus de coopération et de collaboration entre les sujets. L'unité d'analyse […] est un système cognitif composé des individus et des artefacts qu'ils utilisent » (Jermann, 1996). Dans cette situation, l'apprenant guide et décide de son propre cheminement, de ses actions, et de ce fait se trouve placé en position d'acteur dans la construction de son savoir (constructivisme). L'apprenant peut avoir accès à différents outils cognitifs localisés dans des systèmes physiquement éloignés. Plus précisément, ces outils rassemblent notamment ceux évoqués plus haut (des hypermédias par exemple) et ceux propres au travail collaboratif en réseau visant à produire et distribuer de la connaissance. Ces outils existent concrètement sur des plates-formes informatiques dites de « Travail Coopératif Assisté par Ordinateur » (TCAO[33]), communément appelés « *groupware* » ou de travail collaboratif appartenant au domaine des CSCL[34] ou encore des environnements du type CLE[35]. Plus récemment (en 2008 pour le CCK08[36]), les MOOC ont rejoint cette famille de dispositifs d'enseignement à distance. Tous ces Environnements Numériques d'Apprentissage (ENA) entraînent un changement profond dans la manière de travailler mais ne changent en rien la manière dont nous apprenons. L'étudiant se caractérise par son état d'intermédiaire dans un groupe virtuel au sein duquel il interagit, coopère, échange des informations de manière synchrone ou asynchrone, prend des décisions dans un univers construit électroniquement. La technologie facilite l'acquisition de connaissances à travers des conflits socio-cognitifs qu'elle rend possibles sans pour autant les provoquer.

2.1.11 Apprendre en réseau ouvert : du connectivisme aux MOOC

2.1.11.1 Le connectivisme

Nous ne pouvions clore ce chapitre sans parler de la théorie dite « socio-informatique » Cristol (2012) ou « néo-socioconstructiviste » (Guité, 2004) de l'apprentissage, mieux connue sous le nom de *connectivisme*. Cette théorie de l'apprentissage, développée par Siemens (2005) de l'Université d'Athabasca, s'appuie sur une analyse critique des modèles étudiés précédemment pour proposer une théorie unificatrice de l'apprentissage en réseau par technologies interposées. Siemens est persuadé que « ces théories ont été développées à une époque où l'apprentissage n'avait pas encore été touché par la technologie » (*Ibid.*, p.1). De notre point de vue, le dire ainsi c'est méconnaître le rôle que ces technologies ont joué bien avant que le *connectivisme* ne voit le jour. En témoigne notamment les écrits de Seymour Papert qui se posait déjà la question de savoir quelle place pouvait avoir l'ordinateur dans une démarche constructiviste. Dès les années 60 en effet, Papert collaborait déjà avec Piaget avant de développer le langage de programmation *Logo* au MIT. Il faut toutefois reconnaître que durant ces vingt dernières années, la technologie a considérablement transformé notre manière de vivre et de communiquer et qu'elle continue d'ailleurs à le faire. Est-ce à dire pour autant, comme le prétend Siemens, qu'elle a « réorganisée la façon […] dont nous apprenons », (*Ibid.*, p.1) ? Selon la thèse que nous soutenons depuis le début de ce chapitre, c'est moins sûr. Admettons là encore que le caractère polysémique du mot « apprendre » peut être à l'origine d'interprétations très différentes. Pour Siemens, l'apprentissage se réfère principalement à un ensemble de moyens mis à la disposition de l'apprenant pour apprendre. Se basant d'ailleurs sur le concept de « demi-vie de la connaissance » développé par Gonzalez (2004) qui

---

[33] CSCW en anglais : *Computer Supported Cooperative Work*.

[34] CSCL en anglais : *Computer Supported Collaborative Learning*.

[35] CLE en angalis : *Constructivism Learning Environment*.

[36] Le CCK08 (*Connectivism and Connective Knowledge course)* est considéré comme le premier MOOC (*Massiv Open Online Course*).

représente « le laps de temps entre le moment où la connaissance est acquise et le moment où elle devient obsolète », il propose de lutter contre le rétrécissement de la demi-vie de la connaissance en développant de nouvelles *méthodes* d'instruction. Cela a au moins l'avantage de confirmer que Siemens considère plutôt le connectivisme comme un *moyen d'apprendre plus vite* que comme un processus cognitif à proprement parler. Après avoir rappelé les critiques dont cette théorie a fait l'objet, Cristol (2012) fait d'ailleurs remarquer que « le connectivisme, en intégrant des théories déjà existantes, serait *moins une théorie* qu'une *proposition pédagogique* ».

Toujours selon cet auteur, « la mise en œuvre des MOOC est un exemple pratique de *pédagogie* connectiviste […]. Les participants s'auto-enseignent et s'auto-motivent dans un espace animé ». Le connectivisme met ainsi l'accent sur l'apprentissage informel qui prend progressivement le pas sur l'apprentissage formel. Selon George Siemens[37] « l'éducation formelle ne représente plus la majorité de notre apprentissage […]. Il existe une grande variété dans la façon d'apprendre aujourd'hui : par le biais des communautés de pratique, des réseaux personnels et à travers l'exécution des tâches liées au travail ». Plusieurs expériences récentes visent d'ailleurs à montrer que l'apprentissage peut se produire simplement en étant en contact avec la technologie sans l'aide d'un enseignant. Sugata Mitra[38] par exemple a mené une étude durant dix ans qui « démontre que les enfants sont capables d'apprendre (de co-apprendre), seuls, sans professeur, c'est-à-dire par eux-mêmes avec un ordinateur, internet et/ou des supports de cours.

Il conclut que l'éducation est un système qui *s'auto-organise* et où l'apprentissage est le *phénomène émergent* »[39].

Siemens propose comme alternative aux théories béhavioristes, constructivistes voire socio-constructivistes une théorie qui ne cherche pas seulement à étudier comment l'apprentissage se produit « à l'intérieur de la personne » mais aussi en dehors d'elle. Autrement dit, il cherche à construire un modèle qui rejette l'idée que l'apprentissage n'est que le seul résultat d'une activité individuelle et interne mais qu'il est « aussi fonction de l'entourage et des outils de communication dont on dispose » (Guité, 2004,)

> « Un principe central de la plupart des théories de l'apprentissage est que l'apprentissage se fait à l'intérieur d'une personne. Même les approches socioconstructivistes qui soutiennent que l'apprentissage est un processus social adopte cette approche qui met l'emphase sur l'individu (et son/sa présence physique c'est-à-dire fondée sur le cerveau) dans l'apprentissage. Ces théories ne portent pas sur l'apprentissage qui se produit en dehors de personnes (c'est-à-dire un apprentissage qui est stocké et manipulé par la technologie) (*Ibid*.).

Par ailleurs, toujours selon Siemens (2005), les théories centrées sur l'apprenant omettent également de décrire comment l'apprentissage se produit au sein des organisations. Par exemple, la capacité d'évaluer la pertinence d'apprendre une chose, plutôt qu'une autre, est pour lui une méta-compétence qui est appliquée avant même que l'acte d'apprendre ne commence. De fait, l'étude des processus internes d'apprentissage est essentielle lorsque les connaissances qui sont présentées à l'apprenant sont rares, sélectionnées par un enseignant, et que la question ne se pose pas de savoir s'il est ou non pertinent d'acquérir ces connaissances. Mais dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque la connaissance est abondante et variée, la capacité à évaluer rapidement la qualité et la pertinence de la connaissance à apprendre, avant

---

[37] Traduction personnelle des propos cités de George Siemens (2005) tout au long de ce paragraphe.

[38] https://www.ted.com/talks/sugata_mitra_the_child_driven_education?language=fr

[39] Connectivisme (2015, mise à jour 3 août). Dans Wikipédia. Récupéré de https://fr.wikipedia.org/wiki/Connectivisme

même de décider de l'apprendre est essentielle. Autrement dit, la capacité à synthétiser et à reconnaître les liens et les motifs (les récurrences, les modèles) est une compétence précieuse.

Lorsque les théories de l'apprentissage sont vues par le biais de la technologie, bien d'autres questions importantes se posent.

Pour Siemens (2005), la tentation naturelle des théoriciens est de continuer à réviser et faire évoluer les théories de l'apprentissage dès que les conditions initiales changent. Pour lui, cela n'est possible que jusqu'à un certain point. Car lorsque les conditions initiales sont modifiées de manière trop importante, l'ajustement des modèles à ces variations devient impossible. Une toute nouvelle approche devient alors nécessaire et les questions à explorer doivent être traitées dans un autre cadre : celui de la théorie du *chaos* et *des réseaux* par exemple.

Examinons en détail ces deux aspects.

- Contrairement au constructivisme, qui affirme que les apprenants sont susceptibles de mieux apprendre en faisant des tâches significatives, *la théorie du chaos* affirme de son côté que le sens (pré)existe ; le défi de l'apprenant est de reconnaître les motifs (les récurrences, les modèles) qui apparaissent comme cachés.

"Unlike constructivism, which states that learners attempt to foster understanding by meaning making tasks, chaos states that the meaning exists – the learner's challenge is to recognize the patterns which appear to be hidden"(Ibid.).

En reprenant l'analogie de *l'effet Papillon*[40] d'Edward Lorentz (Gleick, 1987), George Siemens rappelle la dépendance sensible des systèmes aux conditions initiales (le paradigme de la théorie du chaos) qui impacte profondément ce que nous apprenons et comment nous l'apprenons. Notre prise de décision en résulte. Si les conditions sur lesquelles nous nous basons pour prendre des décisions changent, la décision que nous prendrons ne sera plus forcément correcte. Elle l'était au moment où nous la prenions, mais ne le sera peut-être plus après ce changement. Le connectivisme est fondé sur l'idée que les décisions que nous prenons reposent sur un socle (des fondations) qui se modifient rapidement. Notre capacité à reconnaître et à ajuster nos décisions aux changements de modèle est une tâche clé de l'apprentissage.

- *Le réseau* quant à lui peut être simplement défini comme un ensemble de connexions entre des entités. « Les réseaux informatiques, les réseaux électriques et les réseaux sociaux fonctionnent tous sur le principe simple que les personnes, les groupes, les systèmes, les nœuds, les entités peuvent être connectés pour créer un ensemble intégré. Les modifications au sein du réseau ont des effets d'entraînement sur l'ensemble. […] La connaissance personnelle est composée d'un réseau, qui se nourrit dans les organisations et les institutions, qui à son tour se nourrissent de retour dans le réseau, et qui continue à alimenter l'apprentissage de la personne. Ce cycle de développement des connaissances (personnel au réseau pour l'organisation) permet aux apprenants de demeurer à jour dans leur domaine à travers les connexions qu'ils ont formés » (*Ibid*.)

Pour Siemens (2005), « le connectivisme est l'intégration des principes explorés par les théories du chaos, des réseaux, de la complexité et de l'auto-organisation. L'apprentissage est un processus qui se produit dans des environnements nébuleux dont les éléments principaux changent, sans être pour autant entièrement sous le contrôle de l'individu ».

[40] « Le battement des ailes d'un papillon au Brésil peut-il provoquer un ouragan au Texas ? ».

« Connectivism is the integration of principles explored by chaos, network, and complexity and self-organization theories. Learning is a process that occurs within nebulous environments of shifting core elements – not entirely under the control of the individual ».

Ainsi, « le connectivisme s'inscrit dans plusieurs phénomènes spécifiques aux activités professionnelles actuelles : le chaos (tout est en lien), la complexité, les réseaux et l'auto-organisation. Ce qui constitue le cœur de la théorie du connectivisme c'est le rôle des liens et des flux entre les individus et les ordinateurs qui les accélèrent et pas exclusivement le contenu des connaissances » (Cristol, 2012).

Les principes fondateurs du connectivisme énoncés par George Siemens sont ici traduits par (Cristol, 2012) :

- L'apprentissage et la connaissance résident dans la diversité des opinions.
- L'apprentissage est un processus reliant des nœuds spécialisés ou des sources d'information.
- L'apprentissage peut résider dans des appareils (non humains).
- La capacité d'en savoir plus est plus critique que ce que l'on sait actuellement.
- Entretenir et maintenir des connexions est nécessaire pour faciliter l'apprentissage continu.
- La possibilité de voir les liens entre les domaines, les idées et les concepts est une compétence de base.
- Obtenir des connaissances précises et mises à jour est ce vers quoi tendent toutes les activités d'apprentissage connectivistes.
- La prise de décision est un processus d'apprentissage en soi. L'importance que l'on donne à une information est variable dans le temps, selon les modifications de l'environnement de cette information.

Il s'agit donc de se convaincre « que la seule information pertinente pour produire des transformations dans une organisation n'est pas dans une seule tête mais dans plusieurs. Incidemment le connectivisme plaide pour des équipes composées d'individus porteurs de différents points de vue et capables de recevoir et adresser des critiques » (Cristol, 2012).

Selon la théorie connectiviste, ce qu'il convient de développer pour apprendre dans une notre économie de la connaissance, c'est la capacité des individus à former des connexions entre les nombreuses sources d'informations dans le but de créer des *modèles d'informations utiles*[41].

2.1.11.2 Du connectivisme aux MOOC

Comme nous l'avons vu précédemment, la théorie connectiviste était à ses débuts enseignée de manière traditionnelle, à l'Université de Manitoba, par Georges Siemens lui-même et Stephen Downes[42] (Cf. Volet 2 : 6). Baptisé *Connectivism and Connective Knowledge*, leur cours a ensuite été ouvert à tous les internautes via les réseaux et « 2 300 participants y ont pris part en ligne, gratuitement en plus des 25 étudiants inscrits » [CIS 11, p. 3]. « Ces derniers étaient libres de participer et d'enrichir le cours avec les outils de leur choix » (*Ibid.*, p. 3).

---

[41] Georges Siemens interviewé par Jacques Fayet et Matthieu Cisel (FFFOD) dans le cadre des journées du e-Learning en juin 2013 : http://cursus.edu/institutions-formations-ressources/formation/20587/rencontre-georges-siemens-nous-parle-connectivisme/#.Vp9LQ9TSk1N

[42] Stefen Downes était alors membre du National Research Council sur le « connectivisme ».

C'est précisément la décision de ses cofondateurs de mettre ce cours en ligne en juin 2008, pour en outre tester l'efficacité de cette théorie, qui marqua le point de départ des MOOC, d'où son premier nom : CCK08 (08 pour la huitième version du cours)[43]. Le principe était de se concentrer, au cours des différentes connexions, sur l'opportunité de créer des liens entre les connaissances dans le but d'en créer de nouvelles. D'ailleurs, le premier sujet de discussion (*post*) de Stephen Downes du *CCK08 course* indique, le 15 septembre 2008, que la première semaine du cours commencera par une cartographie des différents sujets de discussion *(by mapping some of the different areas of discussion)* et qu'il conviendra de commencer par trier les connaissances entre celles qui traitent des réseaux et celles créées par les réseaux (*to sort out between knowledge about networks and knowledge created by networks*).

Pour Stephen Downes, la théorie connectiviste de l'apprentissage « consiste à faire les bonnes connexions ». Dans ce cours, le contenu n'était pas construit ni apporté par l'enseignant mais élaboré avec les étudiants eux-mêmes. Ces derniers étaient donc conduits à participer et à enrichir le cours. Pour cela, ils étaient libres de faire des recherches pour apporter leur propre contribution au cours. Cela aussi pour rappeler que « le contenu des cours ne se trouve pas dans un même lieu, mais peut être situé n'importe où sur le web. Le cours se compose donc des ensembles de connexions reliant le contenu ensemble dans un seul réseau. Voici la structure du réseau de cours de CCK08 » (Siemens et Downes, 2011).

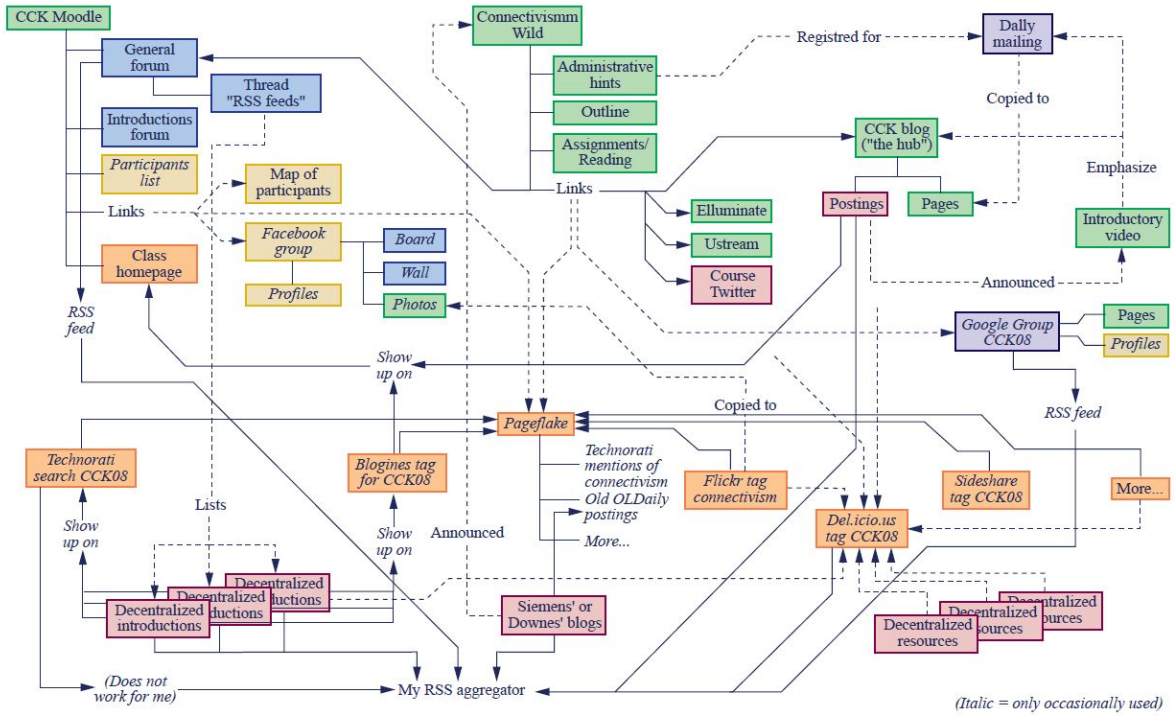


Figure 3. The MOOC Guide (Siemens et Downes, 2011)[44].

[43]Accessible en suivant ce lien : http://connect.downes.ca/archive/08/09_15_thedaily.htm
[44] Figure recrée par l'auteur de cette note de synthèse sur la base de celle proposée par Siemens et Downes.

Les deux cofondateurs de CCK08 précisent d'ailleurs que « l'idée derrière le titre de ce cours est importante car elle découle de la théorie du connectivisme qui dit que l'apprentissage à l'ère du numérique est basé sur la construction de connexions et de réseaux pertinents. Cette idée de se relier les uns aux autres pour construire des connaissances est une des principales dynamiques d'un MOOC. Les participants au cours ont été encouragés à développer leur propre présence en ligne afin d'ajouter à ce réseau des ressources distribuées. Les auteurs de cours ont ensuite utilisé un outil d'agrégation de contenu afin d'apporter tout le contenu dans un seul endroit » (*Ibid.*).

Rappelons ici que « dans la lignée de cette expérience, de nombreux MOOC vont se mettre en place dans différents établissements » (Cisel et Bruillard, 2011, p. 3). Suivra notamment le premier cours d'Udacity créé par Sebastian Thrun en août 2012 (§ 1.3.3.1) qui se distinguera fondamentalement du précédent (CCK8) par l'approche pédagogique qu'il propose. Rompant avec le modèle constructiviste de l'apprentissage, le cours d'Udacity repose en effet une approche beaucoup plus transmissive de l'apprentissage que celle de son prédécesseur. Les capsules vidéo situées au tout début de chaque cours mettent en scène d'éminents professeurs qui enseignent de la même manière qu'ils le feraient en amphithéâtre. Le cours est caractérisé par ses aspects transmissif, magistral et frontal.

A la suite de ces deux expériences, de très nombreux MOOC seront créés (et continuent à l'être) à travers le monde en reproduisant, pour la plupart, l'un ou l'autre de ces deux modèle pédagogiques. Si nous avons retenus ces deux exemples, c'est non seulement parce qu'ils ont été reconnus comme étant les premiers d'une longue série mais aussi parce qu'ils illustrent bien cette différence dans les approches pédagogiques que les MOOC qui suivront emprunteront.

2.1.11.3 Des modèles pédagogiques associés aux MOOC pour le moins contrastés

Autant le CCK08 est fondé sur une approche connectiviste de l'apprentissage reposant sur un modèle établi et décrit en détail au paragraphe précédent, autant Udacity qui lui succède repose sur une approche plus traditionnelle de l'apprentissage. Souvent portée par des universités prestigieuses, la plateforme d'Udacity propose des cours de leurs plus éminents professeurs. Et contrairement aux CCK08, ces cours sont très structurés. Ils reproduisent pour la plupart (sous forme de capsules vidéo) le modèle d'enseignement frontal et transmissif que l'on retrouve dans les amphithéâtres universitaires. Les inscrits influent assez peu sur le contenu. Il en sera de même pour presque tous les MOOC qui suivront, comme Coursera ou edX[45].

Le premier MOOC (CCK08) fait communément partie de ce qu'il est convenu d'appeler la famille des cMOOC. Les suivants comme Udacity, Coursera et edX font quant à eux partie de la famille des xMOOC. Dans les xMOOC, le ou les enseignants construisent un cours structuré qu'ils dispensent à leurs élèves. C'est le modèle classique de la salle de classe à la réserve près qu'appliqué à Internet, le cours s'adresse potentiellement à des milliers d'inscrits. Cela reste une approche très « *top-down* » de l'enseignement : le professeur sait et divulgue son savoir. Le « x » de xMOOC vient à l'origine de Stephen Downes qui voulait différencier les MOOC tels qu'il les concevait (i.e. connectivistes) des autres MOOC. Il avait remarqué que « l'origine du « x » et l'utilisation de « x » dans des applications comme « TEDx » ou « MITX » avaient pour but d'indiquer que ces programmes ne faisaient pas partie d'une offre

[45] Ce ne sera par exemple pas le cas du MOOC ITyPA plus inspiré de CCK8.

de base, mais qu'ils en étaient en quelque sorte des extensions »[46]. Il était d'ailleurs utilisé dans certains MOOC aux États-Unis comme par exemple dans « edX ». Il commença alors à appeler les MOOC venant de Coursera, Udacity et edX, « xMOOC ». Ce n'est que plus tard qu'il appela les autres « cMOOC ». Downes insiste enfin sur le fait que le sens de xMOOC n'est pas de « eXtended MOOC » mais plutôt d'un MOOC perçu comme une extension d'autre chose.

Les MOOC connectivistes sont appelés cMOOC, le « c » venant évidemment le qualifier de connectiviste. Des initiatives plus localisées comme le MOOC ITyPA sont elles aussi très orientées cMOOC. Si l'on observe bien le contenu d'un cMOOC, on constate qu'en définitive il n'y en a pas vraiment ; les participants communiquent au fur et à mesure ce qu'ils savent aux autres et ajoutent des liens sur internet vers d'autres contenus qui leur paraissent utiles. Dans l'esprit de ces cours, l'enseignant qui en a la charge n'a pas pour rôle de transmettre du savoir mais de faciliter les interactions entre participants. Il n'y a pas à proprement parler de création de ressources pédagogiques ; les ressources sont trouvées sur « la toile » et agrégées par des techniques appropriées. Dans un cMOOC, chaque inscrit peut potentiellement devenir un « enseignant » qui apporte sa pierre à l'édifice du cours. Et lorsqu'il n'y a pas du tout d'enseignants (ce qui peut arriver), il y a néanmoins des organisateurs qui structurent les discussions et les contenus proposés.

2.1.11.4 Des MOOC qui réactivent le concept de la classe inversée (flipped school)

Comme nous l'avons vu précédemment, le modèle traditionnel de l'enseignement universitaire repose sur une série de cours magistraux suivis de travaux dirigés. L'amphithéâtre est généralement le lieu où les connaissances sont transmises aux étudiants par l'enseignant. Ce dernier prend également le temps de répondre aux questions posées par les étudiants, et revient au besoin sur les parties difficiles ou mal comprises. Le plus souvent, le cours se prolonge ensuite par des travaux dirigés au cours desquels des exercices d'entraînement sont proposés. L'émergence des vidéo-cours en ligne, comme ceux proposés par la *Khan Academy* par exemple ou ceux présents dans les MOOC, rend les savoirs universitaires bien plus facilement accessibles en ligne, à condition toutefois que la discipline étudiée ne soit pas trop marginale. Comme le dit Michel Serres (2012), le savoir se trouve désormais « au bout des pouces ». Ces nouvelles conceptions de l'enseignement viennent bousculer les formes actuelles et les remettent sérieusement en question. La prise de conscience d'un changement radical dans la manière d'enseigner est désormais une réalité, tant du côté des enseignants que des étudiants.

Pour l'enseignant, une des problématiques sera de continuer à intéresser ses élèves alors que le cours qu'il propose se trouve déjà en ligne. Comment par exemple concurrencer les cours d'éminents professeurs de notoriété internationale ? On pourra également évoquer des cours en ligne jugés par les apprenants « plus faciles à comprendre » ou « mieux présentés » que ceux du professeur qu'ils ont en classe ? Comment réagir face à un élève qui s'est approprié sur internet un savoir savant de haut niveau bien avant le cours ? Ce cas est loin d'être exceptionnel. Sur certains MOOC, il est désormais facile de trouver des cours très populaires que les étudiants suivent durant plusieurs semaines avant même de commencer leur formation traditionnelle. Comment prévoir alors une progression pédagogique adaptée ? Pour Marcel Lebrun « le fait que la plupart des ressources soient disponibles sur Internet modifie les rôles de l'enseignant et de l'étudiant, entre lesquels les frontières s'estompent : en allant chercher

[46] Propos tenus de Stephen Downes lui-même et partagés le 9 avril 2013 sur Google + à l'adresse suivante : https://plus.google.com/+StephenDownes/posts/LEwaKxL2MaM

des informations autour de lui, dans la société, l'étudiant acquiert un savoir que l'enseignant n'a pas forcément, ce qui place celui-ci dans une position d'apprenant » (Blitman, 2014).

Ces pratiques singulières ne sont du reste pas forcément considérées de manière négative par le corps professoral ; certains y voient même des avantages. Imaginons que tous les élèves arrivant en classe aient déjà acquis en ligne de sérieuses connaissances sur le sujet que l'enseignant doit traiter. Celui-ci n'aurait plus qu'à s'atteler à élever le niveau des élèves en leur proposant des problèmes plus ardus, ce qui entraînerait ainsi un gain cognitif non négligeable.

Du côté des étudiants, nombre d'entre eux pensent que le numérique ouvre de nouvelles perspectives qu'il faut exploiter au plus tôt à l'Université. Puisque le savoir à acquérir est à portée de main, pourquoi se déplacer pour assister à un cours? Ils ne sont pas les seuls à se poser cette question. Dans les écoles primaires et les établissements du secondaire, les élèves ne cessent de plaider pour l'usage d'internet pour apprendre. De nombreux collégiens et lycéens se plaignent d'être contraints d'entendre durant d'interminables journées les cours de leurs professeurs alors qu'ils pourraient les écouter plus librement en ligne. Plus de déplacements, plus de contraintes de date ou de durée; le cours peut être interrompu et repris une à deux heures plus tard, à leur convenance… Quant aux questions qui subsistent, l'école, l'université ou le professeur seraient évidemment toujours présents pour y répondre…

Nous retrouvons ainsi le principe d'une classe inversée : l'enseignant produit un cours qu'il met à la disposition des élèves ou des étudiants (souvent par voie électronique) avant que la rencontre n'ait lieu. Il peut s'agir de capsules vidéo ou de ressources en ligne plus traditionnelles (texte, images). Les élèves les regardent et les écoutent à la maison, dans le bus, sur Internet, en DVD, sur leur smartphone selon les technologies qu'ils possèdent ou maîtrisent. De retour en classe, les élèves commentent les notions et concepts visionnés et demandent des précisions éventuelles à leur enseignant. Des évaluations diagnostiques sont parfois prévues avant même d'en débattre (tests, projets, des travaux, etc.). Le moment de la rencontre est celui où les élèves posent des questions, échangent avec leur professeur sur les connaissances récemment acquises ou en voie d'acquisition. Le cours traditionnel est en quelque sorte remplacé par un cours dialogué. Pour Dufour (2014), « la classe inversée, c'est donner à faire à la maison, en autonomie, les activités de bas niveau cognitif pour privilégier en classe le travail collaboratif et les tâches d'apprentissage de haut niveau cognitif, en mettant les élèves en activité et en collaboration ».

La classe inversée fait désormais l'objet d'un immense engouement (Roberge, 2012), aussi bien dans les sphères de l'enseignement supérieur que dans celles de l'enseignement primaire et secondaire[47]. Ce concept très pratiqué aux Etats-Unis et au Canada commence à se développer en France et est déjà expérimenté dans tous les niveaux d'enseignement. Xavier de la Porte relate une histoire intéressante à ce sujet dans Le Monde.fr du 25 octobre 2013.

> « Je vais vous raconter une expérience narrée récemment dans le New York Times par Tina Rosenberg, et qui est le point de départ d'un mouvement qui porte le joli nom « d'école inversée » ou *flipped school*. Tout commence il y a quelques années, à Clintondale, au nord de Detroit, dans une région loin d'être privilégiée. Le proviseur d'un lycée poste sur YouTube des vidéos de tactiques de baseball pour l'équipe de ses fils. Il s'aperçoit que non seulement les jeunes joueurs regardent ces vidéos, mais ils les regardent plusieurs fois... Ils assimilent les stratégies et cela laisse plus de temps, à l'entraînement, pour la mise en application et la pratique. Il décide

[47] Marcel Lebrun (cité par Bilitman, 2014) pense qu'il semble plus naturel de pratiquer la classe inversée dans le primaire que dans le secondaire car les enseignements à l'école primaire sont moins cloisonnés qu'au lycée. L'enseignement supérieur, quant à lui, ne s'en préoccupait que très peu jusqu'à présent (ibid.). Mais l'émergence des MOOC relance le débat des modalités d'application et des plus-values apportées

d'appliquer ça à une de ces classes (la plus faible) et les résultats sont spectaculaires. Il l'applique alors à l'ensemble de son école et il obtient aussi des résultats spectaculaires » [48].

Les premières expériences de classes inversées ont été conduites dans le monde anglo-Il engagea à cette époque des recherches sur de nouvelles formes d'enseignement fondées sur le travail collaboratif. Cette approche incite l'enfant à être actif avec ses pairs au cours de son apprentissage. Il publie sur ce sujet *Peer Instruction: A User's Manual*[49] en 1997.

Si Eric Mazur est souvent considéré comme l'un des précurseurs de la classe inversée, il ne faut toutefois pas omettre de citer le mathématicien américain Salman Kahn qui a été le premier à en avoir développé le concept et qui avait alors publié des vidéos sur *YouTube* en 2004 afin d'aider des enfants de sa famille en mathématiques. Depuis, les cours de ce type foisonnent sur le Net. On compte aujourd'hui plus de « 2 200 mini-leçons »[50] sur le site de la *Kahn Académy*.

2.1.12 Synthèse de ces évolutions

Les nombreuses interactions entre pédagogie et technologie qui viennent d'être décrites au cours de leur évolution « historique » ont indubitablement permis d'enrichir les processus d'enseignement-apprentissage sans pour autant contraindre les enseignants à adopter une pédagogie particulière. Nous faisons au contraire le constat que les technologies n'ont pas fondamentalement modifié la manière dont nous apprenons (au sens des processus cognitifs et non pas des méthodes d'enseignement) mais qu'elles ont su se mettre au service des pédagogies (en perpétuelle évolution) choisies par les enseignants eux-mêmes. Nous voyons aujourd'hui apparaître des approches pédagogiques originales et des modèles nouveaux qui se nourrissent des technologies sans pour autant en devenir l'esclave. Comme nous le précisions plus haut, reprenant les propos de Depover *et al.*, (2009), les technologies éducatives ne sont donc pas à proprement parler des outils cognitifs, mais elles ont un potentiel cognitif dont l'usage est un facteur important sur l'apprentissage et sur le développement des compétences de l'apprenant. « Elles permettent, dans une situation formative, de construire des connaissances et d'activer des stratégies cognitives et métacognitives d'apprentissage » (Jonassen, 2002). « Améliorer la qualité des apprentissages, voilà le seul vrai objectif de ce qu'on nous présente aujourd'hui comme une révolution technologique dans le domaine de l'éducation. Pour atteindre cet objectif, il faut renouveler les approches pédagogiques en les faisant reposer sur des modèles d'apprentissage capables de tirer le meilleur parti des moyens mis à notre disposition par la technologie. A notre sens, l'emploi d'une technologie ne se justifie qu'en fonction de la pertinence des approches pédagogiques qu'elle permet de mettre en œuvre » (Depover, 2001).

2.2 L'ENA : UN SYSTEME D'ACTIVITE INSTRUMENTE

2.2.1 L'Environnement Numérique d'Apprentissage (ENA)

A tous les niveaux du système éducatif, que ce soit dans le primaire, dans le secondaire ou dans l'enseignement supérieur, il est fréquent d'utiliser le terme d' « environnement » pour définir l'ensemble des éléments (humains et non humains) qui entourent l'apprenant et contribuent à son développement cognitif (§ 2.1). Et si nous avons retenu le terme

---

[48] http://internetactu.blog.lemonde.fr/2013/10/25/lecole-inversee-ou-comment-la-technologie-produit-sa-disparition/

[49] Eric Mazur, *Peer Instruction : A User's Manual*, Prentice Hall, 1997 (ISBN 0-13-565441-6)

[50] Khan Academy. (2016, mise à jour 19 janvier). Dans Wikipedia. Récupéré de https://fr.wikipedia.org/wiki/Khan_Academy

d'*Environnement Numérique d'Apprentissage (ENA),* c'est précisément parce que les principaux artefacts qui participent à ce développement sont de nature numérique. Oubahssi et Grandbastien (2007) précisent que « le concept d'environnement dans lequel se déroule l'activité permet de regrouper un ensemble de ressources de tous types qui peuvent aussi bien être des sources de connaissances physiques ou numériques que les outils nécessaires à l'accomplissement de l'activité ». Mais ces environnements font aussi l'objet de nombreuses dénominations concurrentes dès lors qu'ils sont « déployés par l'institution de formation : campus numérique ou virtuel, plateforme virtuelle de travail, environnement techno-pédagogique, etc., autrement dit des environnements institutionnels d'apprentissage » (Peraya, Bonfils, 2014, p. 5). Par ailleurs, le terme d'*Environnement Numérique d'Apprentissage* (ENA) est principalement utilisé au Québec alors que celui d'*Espace Numérique d'Apprentissage* est plus fréquent en Europe. Nous avons néanmoins choisi d'adopter le terme d'ENA car nous trouvions que le concept d' « environnement » se prêtait mieux au caractère *systémique* de notre objet d'étude que celui d' « espace », lequel était trop souvent associé à un autre concept très différent qui est celui d'« Espace Numérique de Travail » (ENT). De plus, un « environnement » est défini comme « l'ensemble des éléments qui entourent un individu et dont certains contribuent directement à subvenir à ses besoins …»[51], ou comme « l'ensemble des conditions […] susceptibles d'agir sur les organismes vivants et les activités humaines »[52]. Ces définitions correspondaient mieux au système que nous voulions représenter (ou modéliser). De là vient notre préférence pour le mot « Environnement » plutôt qu' « Espace ».

Par ailleurs, l'Environnement d'Apprentissage, « en tant qu'objets empiriques, est le plus souvent de nature composite, articulant des éléments numériques et non numériques. En tant qu'objet de recherche, un environnement d'apprentissage doit d'abord être considéré comme un dispositif au sens de notre définition générale[53]. Mais il s'agit d'un dispositif répondant à une configuration particulière relativement aux agents qui les construisent, aux buts que ces derniers lui assignent, aux usages qu'il permet, aux dispositifs particuliers qui le composent, etc. » (Peraya, Bonfils, 2014, p. 5). À la suite de Basque et Doré (1998) et en accord avec la conception constructiviste de l'apprentissage dans laquelle s'inscrivent ces auteures, Peraya, et Bonfils (2014, p. 5) définissent plus particulièrement l'environnement d'apprentissage « comme l'espace d'interactions dans lequel l'apprenant construit activement, par sa propre expérience, ses connaissances », ce qui nous confortait dans ce choix.

A ce concept d'environnement d'apprentissage devait être ajouté un qualificatif significatif. Fallait-il choisir celui de « virtuel », d'« informatisé » ou encore de « numérique » ?

Basque et Doré (1998, p.40) considèrent que « le concept d'environnement d'apprentissage informatisé englobe tout à la fois l'idée de la présence de ressources informatiques pour soutenir la démarche des apprenants, l'idée d'une vision cognitiviste et constructiviste de l'apprentissage et l'idée d'un lieu réel ou virtuel qui loge des "systèmes" en interaction. Et lorsque le lieu est virtuel, on parle communément d'environnement virtuel d'apprentissage ou d'environnement numérique d'apprentissage ». Nous avons donc retenu cette dernière formulation considérant qu'à l'exception de quelques cas rares, la « virtualisation » de ces environnements procède de moyens numériques.

---

[51] *Dictionnaire Larousse* (consulté le 5 janvier 2010).

[52] *Le grand Robert de la Langue française*, Paris, Robert, 2001.

53 « Du point de vue théorique, notre définition du dispositif s'inspire des travaux de Foucault et de l'interactionnisme discursif (Bronckart, 1996). Elle considère un dispositif comme une instance d'interaction sociale caractérisée par des dimensions technologiques, sociales et relationnelles, symboliques, sémiotiques et cognitives propres. » (Peraya, Bonfils, p.4)

Du côté des anglophones, on parle plutôt de *Learning Management System* (LMS). Selon l'encyclopédie libre Wikipédia « *Un Learning Management System* (LMS) ou *Learning Support System* (LSS) est un système logiciel web développé pour accompagner toute personne impliquée dans un processus d'apprentissage dans sa gestion de parcours pédagogiques. Les services offerts incluent généralement un contrôle d'accès, des outils de communication (synchrones et/ou asynchrones) et l'administration des groupes d'utilisateurs »[54].

2.2.2 Les principes du paradigme systémique

Le Larousse[55] définit un *Système* (du grec *sustêma* qui signifie « ensemble cohérent ») selon la nature de l'objet qu'il caractérise (système philosophique, système solaire, système thermique, système nerveux, etc.). Si L'ENA est considéré comme un « système d'éducation », le dictionnaire le définit comme un « ensemble de procédés, de pratiques organisées, destinés à assurer une fonction ». Outre le fait que cette définition nous encourage à appréhender un ENA comme un système, elle a aussi l'avantage d'exprimer fermement son caractère fonctionnel sur lequel reposera notre démarche modélisatrice.

Un système peut aussi être considéré « comme un ensemble d'éléments en interaction [dynamique, organisés en fonction d'un but][56] » (De Ronay, 1975, p. 92). Outre l'idée de structure, cette définition apporte deux notions complémentaires : « l'interaction dynamique » qui conduit à l'idée du système en fonctionnement et une organisation « en fonction d'un but » qui introduit l'idée de *finalité*.

La théorie des systèmes fait également une distinction entre les *systèmes fermés* et les *systèmes ouverts* :

« *Le système fermé* est défini « comme étant totalement isolé des influences externes et donc uniquement soumis à des modifications internes. Le système fermé peut se définir comme un automate qui ne peut se trouver que dans un nombre d'états définis ; la connaissance de ces états est suffisante pour définir le système.

Le système ouvert est en relation permanente avec son environnement. Il subit des perturbations externes qui sont, *a priori*, imprévisibles et inanalysables. Ces perturbations, qui se produisent dans l'environnement, provoquent des adaptations du système qui le ramènent à un état stationnaire » (Tardieu, Rochfeld et Colletti, 1986 p. 32).

Par ailleurs, trois concepts ou propriétés formelles (Von Bertalanffy, 2012, p. 64) s'appliquent aux systèmes ouverts.

- celui de *Totalité* qui considère que les lois gouvernant le comportement des parties peuvent être établies seulement en considérant la place des parties dans le tout. Par exemple, « si vous prenez n'importe quel ensemble de phénomènes biologiques, aussi bien le développement embryonnaire que le métabolisme, la croissance, l'activité du système nerveux, la biocénose, etc., vous constaterez toujours que le comportement d'un élément diffère à l'intérieur du système de ce qu'il est dans l'isolement (*Ibid.*, p. 66). Autrement dit, « un système ne se comporte pas comme un simple agrégat d'éléments indépendants, il constitue un tout cohérent et indivisible » (Tardieu *et al.*, 1986, p. 33).

---

[54] Learning management system (2016, mise à jour 4 mars). Dans *Wikipédia*. Récupéré de https://fr.wikipedia.org/wiki/Learning_management_system

[55] Dictionnaire Larousse (en ligne consulté le 8 mars 2016) : http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/syst%C3%A8me/76262

[56] La formule entre crochet semble avoir été complétée par Tardieu, Rochfeld et Colletti (1986 p. 32).

- celui de *Rétroaction* implique que chaque élément d'un système peut s'informer et agir sur l'état des autres. « Le fonctionnement de base des systèmes repose sur le jeu combiné des interactions entre les composants du système. Pour définir ce jeu d'interactions, les modèles de causalité simples se révèlent inefficaces. Dans tout système où s'effectuent des transformations, on peut identifier des *entrées* qui reflètent l'action de l'environnement sur le système et des *sorties* qui représentent l'action du système sur l'environnement. La rétroaction consiste à renvoyer à l'entrée du système des informations produites en sortie. L'identification de boucle de rétroaction permet de comprendre des fonctionnements complexes des systèmes. La mise en œuvre de ces boucles va conduire à une *circularité* du système ; en effet, autant dans la chaîne causale linéaire, on peut parler d'un comportement et d'une fin, autant pour des systèmes à rétroaction, ces termes n'ont pas de sens » (*Ibid.* p. 33).

- celui de *Finalité* qui postule « qu'en cas de perturbation, le système met en action des forces qui s'opposent à celle-ci et qui le ramène à l'état d'équilibre : ce sont des conséquences du principe de moindre action » (Von Bertalanffy, 2012, p. 73). Dans le concept de *finalité* préexiste la question du *pourquoi* le système entre en action, quel est son but ? Elle précède de loin la question du *comment* le système fonctionne. Ainsi, le système permet à l'employé d'une entreprise de gagner sa vie, à l'actionnaire d'engranger des profits, au chercheur de produire de la connaissance, etc. Certaines de ces finalités sont parfois moins conscientes que d'autres, comme par exemple celles liées à un besoin de reconnaissance personnelle ou à la conquête d'un pouvoir. Cela signifie que les mêmes conséquences peuvent avoir des origines très différentes et que par opposition au système fermé qui est complétement déterminé par ses conditions initiales, un système ouvert peut avoir un comportement indépendant de ces conditions. Appliquées aux systèmes sociaux, ces finalités « vont s'articuler les unes avec les autres et préserver une certaine cohérence dans le temps malgré les pressions de l'environnement. Il y a auto-organisation et adaptation des moyens pour assurer la survie et le développement du système »[57].

Jean-Louis le Moigne (1977) propose de définir le système comme « *quelque chose* (n'importe quoi, identifiable), qui *fait* quelque chose (activité, fonction), et qui est doté d'une *structure*, *évolue* dans le temps, *dans* quelque chose (environnement) *pour* quelque chose (finalité) ».

[57] Approche systémique. (2016, mise à jour 4 mars). Dans Wikipédia. Récupéré de https://fr.wikipedia.org/wiki/Approche_syst%C3%A9mique

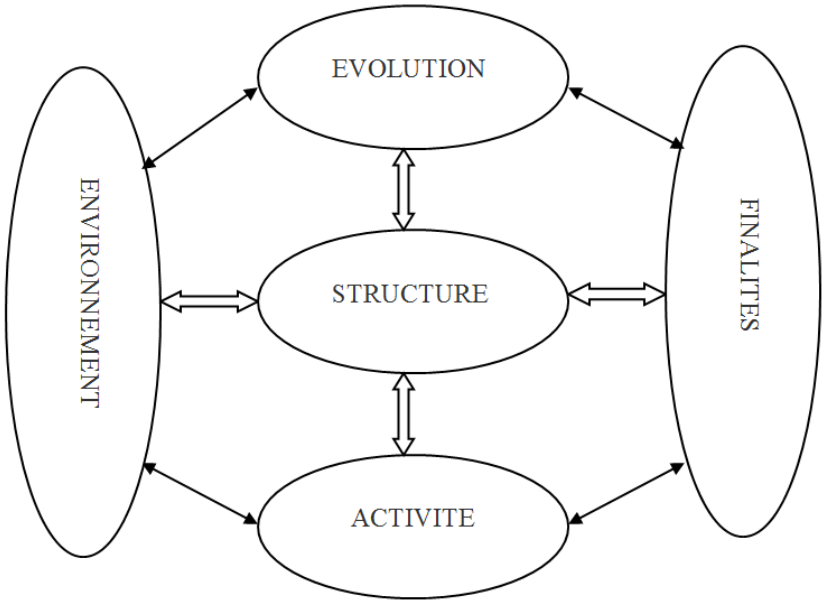


Figure 4. Schéma d'un système (Le Moigne, 1977).

On voit clairement sur le schéma ci-dessus les influences réciproques de *l'évolution*, de *l'activité*, de *l'environnement* et *des finalités* de l'organisation sur *sa structure.*

Afin de mettre davantage l'accent sur les influences réciproques, le système peut aussi être vu comme « un ensemble d'objets et les relations entre ces objets et entre leurs attributs. […] Les objets sont les composants du système, les attributs sont les propriétés des objets et les relations peuvent être comprises comme ce qui fait tenir ensemble le système » (Hall & Fagen, 1956 cité par Tardieu *et al.*, 1986, p. 32). Autrement dit, un système peut être défini comme un complexe d'éléments en interaction. « Par *interaction*, nous entendons des éléments *p* liés par des relations *R*, en sorte que le comportement d'un élément *p* dans *R* diffère de son comportement dans une autre relation *R'*. S'il se comporte de la même façon dans *R* et *R'*, il n'a pas interaction et les éléments se conduisent indépendamment par rapport par rapport aux relations *R* et *R'* » (Von Bertalanffy, 2012, p. 53).

Un système peut être défini mathématiquement et de plusieurs façons. Dans son ouvrage sur la *Théorie générale des Système*, Ludwig Von Bertalanffy (2012, p. 54) choisit d'utiliser un système d'équations différentielles simultanées.

Soit Q_i (i = 1, 2, …, n) une mesure quelconque des éléments p_i ; ces équations seront, pour un nombre fini d'éléments et dans un cas simple, de la forme :

$$\begin{cases} \dfrac{dQ_1}{dt} = f_1\,(Q_1, Q_2, \ldots, Q_n) \\ \dfrac{dQ_2}{dt} = f_2\,(Q_1, Q_2, \ldots, Q_n) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{dQ_n}{dt} = f_n\,(Q_1, Q_2, \ldots, Q_n) \end{cases}$$

La variation de n'importe quelle mesure Q_i est donc une fonction des toutes les autres, Q_i (i = 1, 2, …, n). Réciproquement, la variation de n'importe quelle Q_i entraîne une variation de toutes les autres mesures et du système dans leur totalité.

Pour illustrer les concepts de *totalité*, *rétroaction* et de *finalité* propres à système ouvert, Watzlawick, Helmick Beavin et Jackson (1972) font une analogie avec « la famille ».

Dans une famille dit-il, le comportement de chacun de ses membres est lié au comportement de tous les autres et en dépend. Le comportement de la famille ne peut se réduire à la somme des comportements de chacun de ses membres. Il existe des caractéristiques propres au système. C'est ainsi qu'ils illustrent le principe de *Totalité*.

Lorsqu'une famille est confrontée à des événements extérieurs, qu'ils soient importants ou non d'ailleurs, cela peut avoir comme conséquence un resserrement des liens familiaux ou au contraire un éclatement de la famille (héritage, épidémie, …). Les boucles de *rétroaction* se traduisent par le fait que les réactions de la famille en réponse à des perturbations venant de l'environnement vont à leur tour modifier le « système famille ».

Enfin, le principe de *Finalité* s'exprime par les motivations très diverses qui conduit chacun des membres de la famille à se comporter de telle ou telle façon en vue d'arriver à un resserrement ou à un éclatement. Les comportements face à l'événement peuvent s'avérer peu dépendants des conditions initiales de la perturbation. « Le terme d'*homéostasie* rend compte de l'existence des mécanismes de rétroaction qui servent à atténuer les répercutions d'un changement et à ramener le système à son état d'équilibre » (Tardieu *et al.*, 1986, p. 34).

2.2.3 Les étapes de la démarche systémique

2.2.3.1 L'approche systémique en trois étapes proposée par de Rosnay (1975)

De Rosnay (1975, p. 122), dans « Le Macroscope », définit trois étapes de l'approche systémique : l'analyse des systèmes, la modélisation et la simulation.

- *L'analyse* des systèmes consiste à définir les limites à modéliser, à identifier les éléments importants et les types d'interactions entre ces éléments, puis à déterminer les liaisons qui les intègrent en un tout organisé.

- *La modélisation* consiste à construire un modèle à partir des données de l'analyse des systèmes. L'auteur propose d'établir un schéma complet des relations causales entre les différents éléments des différents sous-systèmes.

- *La simulation* étudie dans le temps le comportement du système, c'est-à-dire simule son évolution lorsqu'une ou plusieurs variables à la fois sont modifiées.

Pour éviter toute équivoque, insistons sur le fait que lorsque nous parlons de « l'analyse des systèmes », il s'agit bien de « l'analyse » au sens de de Rosnay (1975) décrite plus haut. Nous ne devons pas la confondre avec une analyse du système en fonctionnement que nous définirons plus loin. C'est une étape conceptuelle préalable où l'on cherche à se représenter, à anticiper les événements à venir et proposer des actions propices au bon fonctionnement du dispositif.

2.2.3.2 La démarche systémique de Donnadieu et Karsky (2002)

Après de Rosnay (1975), Donnadieu et Karsky (2002) puis Donnadieu et al. (2003) présentent à leur tour la systémique comme une méthode, mais aussi comme un savoir et une pratique, « *une manière d'entrer dans la complexité* », disent-ils.

La démarche se déroule toujours en trois étapes sensiblement identiques à celles décrites plus haut par de Rosnay (1975) : « observation du système par divers observateurs et sous divers aspects ; analyse des interactions et des chaînes de régulation ; modélisation en tenant compte des enseignements issus de l'évolution du système ; simulation et confrontation à la réalité (expérimentation) pour obtenir un consensus » (Donnadieu *et al.*, 2003, p. 7). Mais ce sont surtout les outils que ces auteurs intègrent dans chacune des étapes qui enrichissent considérablement la démarche de de Rosnay. Angeline Aubert, Désiré Nkizamacumu et Dorothée Kozlowskidans reprennent dans une note de synthèse[58] les trois étapes proposées par Donnadieu et *al.* (2003, p. 7) et décrivent ces outils. Parmi eux, on peut citer (i) *la triangulation systémique*, (ii) *le découpage systémique*, (iii) *le langage graphique*, (iv) *la modélisation*, (v) *l'analogie*. Nous reprenons ci-dessous les trois étapes de la démarche proposée par Donnadieu *et al.* (2003, p. 7) en y intégrant ces outils.

- La première étape est celle de l'*exploration.* Elle utilise « la méthode de *triangulation systémique*, qui consiste à s'interroger à partir de trois pôles permettant d'approfondir la représentation du système. « Remarquablement adaptée à la phase d'investigation d'un système complexe, la triangulation va observer celui-ci sous trois aspects différents mais complémentaires, chacun lié à un point de vue particulier de l'observateur » (*Ibid.* p.7).

Les pôles de ce premier outil de la systémique sont :

- *l'aspect fonctionnel* (à quoi sert le système dans son environnement ?) : « est surtout sensible à la finalité ou aux finalités du système » (*Ibid.* p.7)
- *l'aspect structural* (ses composants et leur agencement) « On retrouve là la démarche analytique avec cependant une nuance de poids : l'accent est mis bien davantage sur les relations entre composants que sur les composants eux-mêmes, sur la structure que sur l'élément » (*Ibid*, p.7).
- *l'aspect historique* (nature évolutive du système) : « doté d'une mémoire et d'un projet, capable d'auto-organisation. Seule, l'histoire du système permettra bien souvent de rendre compte de certains des aspects de son fonctionnement. Pour les systèmes sociaux, c'est même par elle qu'il convient de démarrer l'observation » (*Ibid.* p.7).

[58] Angeline Aubert, Désiré Nkizamacumu et Dorothée Kozlowskidans, (n.d.). Agir en situation complexe – Note de synthèse 4 : L'approche systémique. Récupéré du site : http://www.esen.education.fr/fileadmin/user_upload/Modules/Ressources/Themes/management/note_4_approche_systemique.pdf

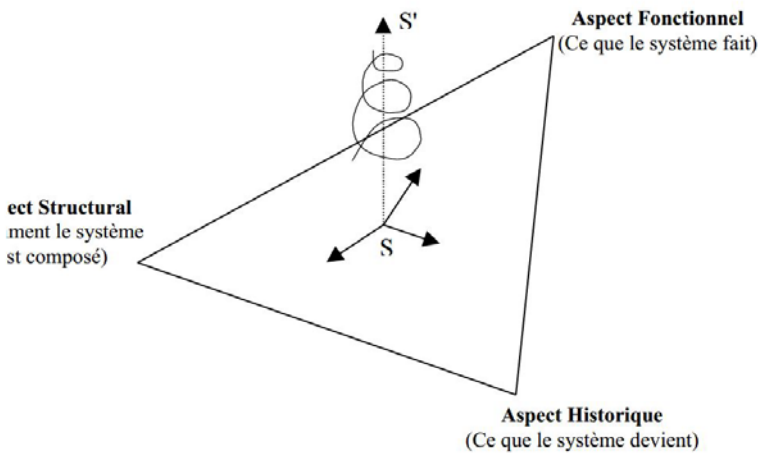


Figure 5. La triangulation systémique (Donnadieu *et al.*, 2003, p. 8)

Au cours de l'exploration, il convient d'identifier les différents flux, à la fois humains et informationnels, qui traversent le système. Appliquée à cette première étape, la triangulation systémique se déroule en combinant ces trois voies d'accès. Plus exactement, « on se déplace d'un aspect à un autre au cours d'un processus en hélice qui permet, à chaque passage, de gagner en approfondissement et en compréhension, mais sans que jamais on puisse croire que l'on a épuisé cette compréhension » (Ibid. p. 8)

- La deuxième étape est la *modélisation qualitative*. Il s'agit, à partir des informations récoltées, de mettre au point une carte fidèle et utilisable du système, en visualisant les différentes interactions entre les principaux composants du système et l'environnement, les différents flux et les actions de pilotage pour la régulation du système. Le *découpage systémique* perçu comme un deuxième outil de la systémique aide en l'occurrence à identifier les sous-systèmes (modules, organes, sous-ensembles,…) qui jouent un rôle dans le fonctionnement du système. A la différence de la décomposition analytique, on ne cherche pas à descendre au niveau des composants élémentaires « mais à définir clairement les frontières de ces sous-systèmes (ou modules) pour faire ensuite apparaître les relations qu'ils entretiennent entre eux ainsi que leur finalité par rapport à l'ensemble » (Ibid., p 8).

Différents schémas normalisés ont été mis au point, pour représenter différents circuits: organigrammes, logigrammes, etc. C'est là que *le langage graphique* intervient comme un troisième outil de la systémique. Les auteurs (*Ibid.* p. 9) attribuent « quatre avantages au langage graphique:

- il permet une appréhension globale et rapide du système représenté (après apprentissage),
- il contient une forte densité d'informations dans un espace limité (économie de moyens),
- il est monosémique et semi-formel (faible variabilité d'interprétation),
- il possède une bonne capacité heuristique (notamment dans un travail de groupe) ».

- La troisième étape est la *modélisation dynamique* : « si le modélisateur souhaite que son modèle soit opératoire, c'est-à-dire permette à l'utilisateur de s'orienter dans la complexité et d'agir efficacement sur elle, il doit prendre en compte certains critères et respecter certaines lois de construction. Un tel processus est représenté sur le schéma ci-après qui met en évidence les quatre étapes itératives indispensables à toute modélisation. La démarche est vivement conseillée pour l'étude des systèmes hyper-complexes, en particulier sociaux » (Ibid. p. 9). Que la modélisation soit qualitative ou quantitative, elle représente ici des étapes

de la démarche. Mais la modélisation peut aussi être considérée comme un processus technique et donc comme un quatrième outil de la systémique.

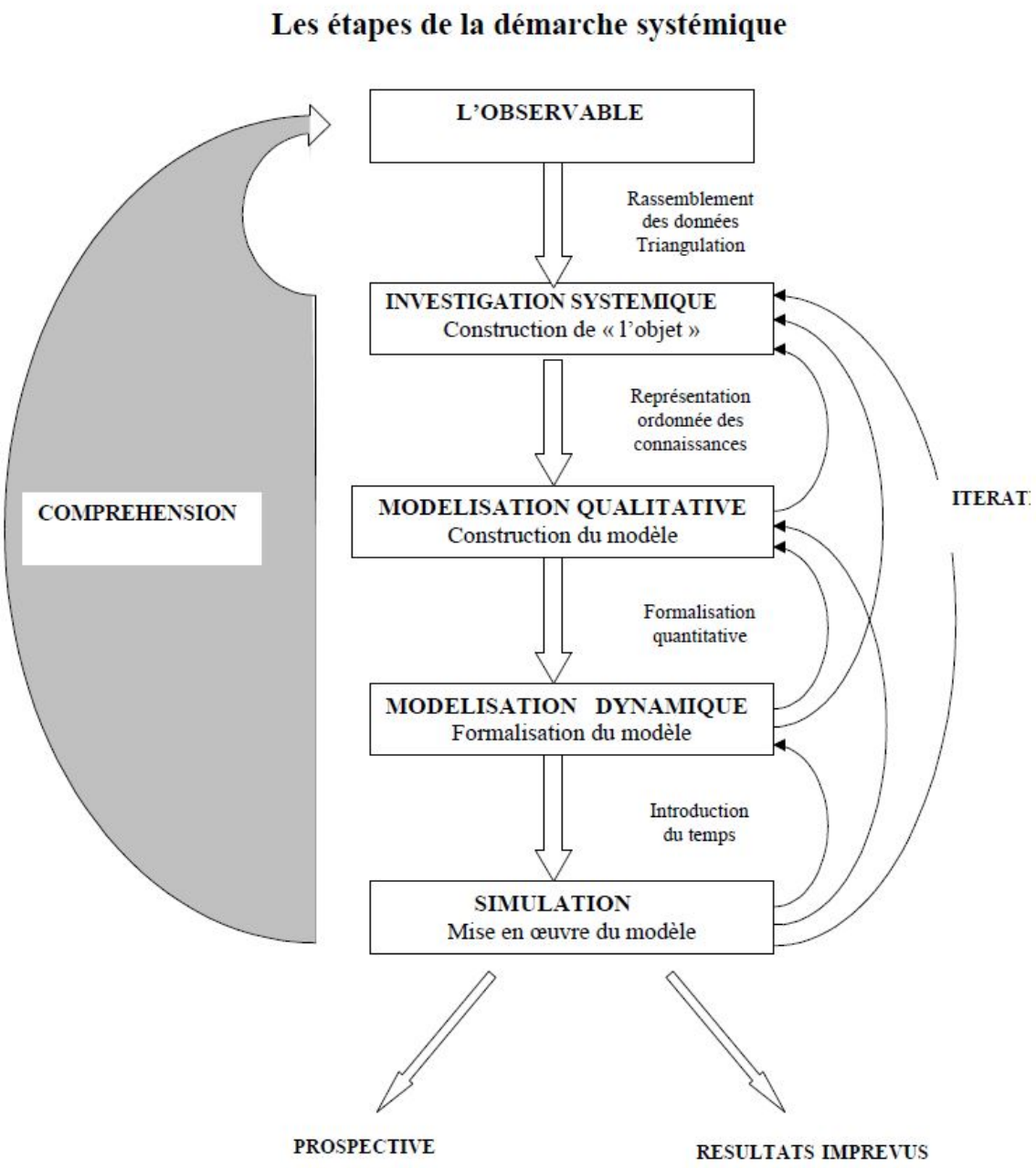


Figure 6. Les étapes de la démarche systémique (Donnadieu et Karsky, 2002)

Au cours de cette étape de modélisation, un mode de raisonnement continue d'imprégner la démarche heuristique des chercheurs : il s'agit de l'*analogie*. Elle est pressentie par les auteurs comme un cinquième outil de la systémique. « En matière d'analogie, trois niveaux peuvent être distingués :

- *La métaphore* établit une correspondance souvent toute extérieure entre deux séries de phénomènes différents ou deux systèmes de nature différente. Parce qu'elle se fonde sur l'apparence, la métaphore est dangereuse. Bien utilisée, elle est précieuse car stimulant l'imagination et facilitant la création de nouveaux modèles.

- *L'homomorphisme* établit une correspondance entre quelques traits du système étudié et les traits d'un modèle théorique ou d'un système concret plus simple ou plus commodément étudiable (que l'on appelle alors modèle réduit). Par des observations effectuées sur ce second système, il est possible de prévoir certains aspects du comportement du premier.
- *L'isomorphisme* est la seule analogie acceptable dans une démarche analytique traditionnelle. Il s'agit d'établir une correspondance entre tous les traits de l'objet étudié et ceux du modèle, rien ne devant être oublié » (Donnadieu et *al.*, 2003, p. 9).

Après avoir défini ces trois niveaux, les auteurs reconnaissent l'imperfection du modèle homomorphe mais voient dans cette imperfection la condition nécessaire de tout accès à la connaissance, déclarant par ailleurs que l'isomorphisme ne peut être utilisé que pour des systèmes à faible complexité car il serait inapproprié à des systèmes complexes. Dans le modèle homomorphe, « le modèle est sans doute plus simple que le réel, mais c'est pourquoi nous le comprenons et nous pouvons l'utiliser pour orienter nos actions » (*Ibid.* p. 9).

Pour conclure sur les étapes de la démarche systémiques décrite par Donnadieu et Karsky (2002) et illustrée par la figure 12, ces auteurs précisent qu'en sciences humaines, les démarches ne vont pas toujours jusqu'au bout de ces trois étapes, mais que même limitée à l'exploration, la méthode systémique ainsi décrite reste un bon outil de compréhension.

2.2.3.3 Eléments de synthèse

Nous remarquons que Donnadieu et *al.* (2003) reprennent approximativement les trois étapes de la démarche de Jean de Rosnay tout en la complétant par de nouveaux outils tels que *l'analogie, la triangulation systémique, le découpage systémique* et le *langage graphique*. Ces derniers viennent s'ajouter aux outils de base de l'approche systémique de Jean de Rosnay qui sont les *modèles* et la *simulation* (Tardieu *et al.*, 1986, p. 34).

De Ludwig Von Bertalanffy à Jean-Louis Le Moigne, en passant par Kenneth E. Boulding[59], bien d'autres variations et sensibilités ont été relevées dans la manière de concevoir les différentes étapes de cette démarche. Mais comme le souligne de Ronay (1975, p. 92), l'essentiel est de « situer l'approche systémique par rapport à d'autres approches avec lesquelles elle est souvent confondue :

- L'approche systémique dépasse et englobe l'approche cybernétique (Wiener, 1948) qui a pour but principal l'étude des régulations chez les organismes vivant et les machines.
- Elle se distingue de la Théorie générale des systèmes (Von Bertalanffy, 1954) dont le but ultime consiste à décrire et à englober, dans un formalisme mathématique, l'ensemble des systèmes rencontrés dans la nature.
- Elle s'écarte également de l'analyse de système. Cette méthode ne représente qu'un outil de l'approche systématique. Prise isolément, elle conduit à la réduction d'un système en ses composants et en interaction élémentaire.
- Enfin, l'approche systémique n'a rien à voir avec une approche systématique, qui consiste à aborder un problème de manière séquentielle (une chose après l'autre), détaillée, ne laissant rien au hasard et n'oubliant aucun élément ».

Rappelons ici que la notion de *système complexe* est très proche de la notion de *système ouvert* même si la différence entre les deux peut paraître assez floue. Généralement, dès

[59] K.E. Boulding (1967) présente dans *Skeleton of Science* (« l'armature de la science ») une analyse en neuf niveaux, que nous développerons et utiliserons par la suite. Elle a très largement contribué à éclairer les conditions d'utilisation de l'approche ou de la méthodologie systémique.

l'instant où le système est considéré comme ouvert et constitué par une grande variété de composants organisés en niveaux arborescents et que ces différents niveaux et composants sont reliés entre eux par une grande variété de liaisons, le système est dit complexe (Tardieu *et al.*, 1986, p. 33). L'*homéostasie* apparaît aussi comme une propriété voire une condition essentielle d'un système complexe. Elle doit être entendue comme *une résistance au changement*. C'est l'une des propriétés les plus remarquables et les plus caractéristiques des systèmes ouverts de haute complexité […] Un système homéostatique « réagit à tout changement provenant de l'environnement, ou à toute perturbation aléatoire, par une série de modification de grandeur égale et de direction opposée à celles qui lui ont donné naissance : ces modifications ont pour finalité le maintien des équilibres internes (De Ronay, 1975, p. 129). Nous ne développerons pas davantage ici le concept de système complexe puisqu'il fera l'objet d'un long développement au paragraphe 5.1.

2.2.4 L'ENA perçu comme un système ouvert

L'approche systémique s'oppose donc à l'approche analytique en ce sens qu'elle envisage les éléments d'une organisation non pas isolément, mais globalement, c'est-à-dire en tant que parties intégrantes d'un ensemble dont les différents composants sont dans une relation de dépendance.

Dans l'approche analytique, on essaie de réduire le système à des éléments constitutifs simples pour les étudier isolément et analyser leurs interactions avec le système. Cette approche est pertinente dans le cas des systèmes homogènes comportant des éléments semblables ayant entre eux des interactions faibles. Ceci s'applique généralement à des phénomènes […] qui se produisent dans des systèmes partiels hautement « mécanisés ». On l'observe aussi en biologie dans quelques cas rares comme dans l'impulsion nerf-muscle par exemple. « Les potentiels d'action dans un nerf sont pratiquement les mêmes, qu'on les étudie isolément ou à l'intérieur de ce tout qu'est l'organisme » (Von Bertalanffy, 2012, p. 65). Dans ce cas, le principe de *sommativité*[60] peut s'appliquer. Mais ce n'est pas du tout le cas des Environnements Numériques d'Apprentissage (ENA) dont la fonction, essentiellement cognitive, est située dans un contexte artefactuel et social. Comme les systèmes sociaux (dont ils font d'ailleurs partie), les ENA sont constitués d'éléments en interactions dynamiques fortement dépendants les uns des autres et du milieu. N'étant pas totalement isolés des influences externes, les ENA peuvent donc être considérés comme *des systèmes ouverts*. Plusieurs théories et travaux sur l'apprentissage humain par technologies interposées en témoignent.

Mais avant de citer quelques-uns de ces travaux, apportons une clarification sémantique liée à l'emploi du concept d'*environnement*. Celui-ci est en effet employé à la fois pour décrire et caractériser ce qui est extérieur au « système ENA » et l'ENA lui-même (le « E » de l'acronyme) ; polysémie susceptible de créer de la confusion. Pour être précis, nous considérons l'ENA comme l'*environnemen*t *numérique* (le LMS). Considéré comme lieu d'apprentissage, l'ENA est donc constitué d'artefacts didactiques, pédagogiques et techniques. Il intègre aussi « virtuellement » les acteurs de la formation (enseignants, tuteurs, concepteur, …) et les sujets apprenants dès lors qu'ils sont inscrits à une formation. Tout acteur de la formation est « physiquement » extérieur au système ENA et « virtuellement » intégré au système. Dans ce dernier cas, il en est même un sous-système à côté d'autres sous-systèmes. L'*environnement* représente cette fois ce qui est extérieur à l'ENA (milieu socio-

[60] La sommativité au sens mathématique signifie que la variation du système total obéit à une équation du même type que les équations des parties (Von Bertalanffy, 2012, p. 66).

culturel par exemple). Les traces de l'activité font partie intégrante du système ENA. Les acteurs de la formation ou les apprenants y pénètrent à l'occasion de la préparation ou du déroulement des séances d'apprentissage, sous forme d'*avatar* en quelque sorte. Ils en ressortent une fois le cours terminé ou la formation close. Comme nous l'écrivions dans *« Les cahiers pédagogiques »*, l'espace est *virtuel* mais les apprentissages *bien réels* (Trestini, 2006, p. 51). Concrètement, pour éviter toute confusion, nous utiliserons l'acronyme « ENA » pour évoquer l'environnement numérique (la plateforme et son contenu) et le mot « *environnement* » pour caractériser le milieu extérieur au système ENA.

Ces quelques précisions apportées, revenons-en à présent aux arguments qui soutiennent l'idée qu'un ENA est un système qui échange de l'information, de la matière et de l'énergie avec l'extérieur, autrement dit un système « *ouvert* » sur son *environnement.*

Selon Baron (2011, p. 111), l'intérêt pour *une approche systémique de l'éduction* se répand vers la fin des années soixante [61]. Estimant que les éducateurs n'ont pas compris que les moyens nouveaux de communication [faisant références aux TIC] exigent un examen radical du processus d'enseignement-apprentissage, il préconise de « passer d'un système d'apprentissage centré sur le professeur à un système fondé sur *l'environnement*, où les relations entre l'élève et la source d'instruction changent, où on favorise des situations dans lesquelles les apprenants sont actifs, par rapport à celles, traditionnelles, où ils sont réputés plutôt passifs » (Ibid., p. 71).

En 1981, l'organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture publie « *L'éducateur et l'approche systémique : manuel pour améliorer la pratique de l'éducation* ». Ce manuel de l'UNESCO présente au lecteur cette approche « qui permet *d'analyser des situations éducatives pratiques* en vue d'améliorer l'efficacité du processus d'enseignement ou d'apprentissage. Il a pour objet d'aider tous ceux qui exercent des activités éducatives (enseignants, chefs d'établissement, documentalistes, formateurs d'adultes, animateurs de collectivités, agents de développement, spécialistes des méthodes et techniques, administrateurs, inspecteurs, etc.) à identifier les points forts et les points faibles des situations pédagogiques auxquelles ils sont confrontés et à y apporter les modifications en leur pouvoir, compte tenu du niveau de décision auquel ils opèrent »[62].

Cette inclination pour l'adoption d'une démarche systémique en éducation a conduit certains chercheurs à mettre au point des méthodes systémiques de planification et de développement de l'enseignement. « Influencés par les travaux sur la systémique (Lapointe, 1993), ils considèrent alors un cours comme un système complexe mettant en interaction un ensemble d'éléments qu'il convient de bien planifier au cours d'un processus marqué au coin de la rigueur et d'une recherche de cohérence entre les différentes composantes du cours (objectifs, stratégies pédagogiques, évaluation des apprentissages, média, etc.) (Basque, 2004, p. 7).

Plus récemment, Peraya et Bonfils, (2014, p. 4-5) ont défini un environnement d'apprentissage comme « un espace d'interactions dans lequel l'apprenant construit activement, par sa propre expérience, ses connaissances » avant d'ajouter, en citant Basque et Doré (1998), « il est donc le lieu qui abrite un système avec ses sous-systèmes, ce lieu pouvant être réel ou virtuel ».

---

[61] Baron (2011, p. 11) cite à ce propos un rapport de l'OCDE publié en 1971qui fait le point sur la question de la technologie de l'éducation, conçue comme la mise en œuvre de nouveaux systèmes d'apprentissage (OCDE-CERI 1971).

[62] *L'éducateur et l'approche systémique : Manuel pour améliorer la pratique de l'éducation*, publié en 1981 par l'organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. Paris : Presses Universitaires de France, Vendôme. Récupéré de : http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001378/137882fo.pdf

Donnadieu *et al.* (2003, p. 6) vont encore plus loin en affirmant que « c'est précisément parce que le système est ouvert qu'il peut maintenir son organisation, voire la complexifier, car conformément au principe d'entropie, un système qui n'échange rien avec son environnement (système fermé ou mieux isolé)[63], ne peut que se détruire (mort entropique) ». L'entropie (S) d'un système (du grec *entropê* signifiant changement) est un concept emprunté à la thermodynamique (Clausius, 1865). Il est défini dans ce domaine particulier comme la mesure du degré de dispersion de l'énergie (sous toutes ses formes : thermique, chimique, électrique) à l'intérieur du système. Le second principe de la thermodynamique ($dS > 0$) stipule que, dans un système isolé, l'énergie a tendance à se disperser le plus possible. Tant que cette dispersion a lieu, le système « travaille » (le chaud va vers le froid, l'azote se mélange à l'oxygène, les individus d'origines et de cultures différentes échangent leurs connaissances et travaillent ensemble…) jusqu'à ce qu'il atteigne un état stable. Arrivé à ce stade, l'irréversibilité du phénomène ne permet plus systématiquement[64] un retour à l'état initial et en aucun cas sans apport d'énergie : on ne revient pas à des températures différentes, à la séparation de deux gaz mélangés, à une culture originelle). « Un tel passage vers un ordre plus élevé suppose un apport d'énergie ; or l'énergie n'est fournie au système de façon continue que s'il s'agit d'un système ouvert, recevant de l'énergie de ce qui l'entoure » (Bertalanffy, 2012, p. 67). De Ronay (1975, p. 151) définit cette variation entropique comme « l'accroissement irréversible de la non-disponibilité de l'énergie dans l'univers ». L'entropie est une grandeur très abstraite qui mesure à la fois le désordre et le gaspillage provoqués par notre planète, le pays, l'entreprise ou l'organisation dans laquelle on travaille mais aussi par l'organisme humain et chacune des cellules qui le constituent. Un système ouvert échange de l'énergie, de la matière et des informations nécessaires au maintien de son organisation contre la dégradation produite par son propre fonctionnement. Il rejette du même coup « ses résidus entropiques » dans son environnement en augmentant l'entropie de ce dernier. *En ouvrant ses frontières, il crée de la diversité (augmentation de la complexité) qui lui permet d'entretenir son activité...* De fait, en diminuant localement la sienne et en maintenant son niveau entropique relativement bas, cela lui permet de maintenir son organisation *en activité* et de lutter contre sa dégradation. Selon la métaphore de De Ronay (1975, p. 102) « un système ouvert est en quelque sorte un réservoir [d'eau] qui se remplit et se vide à la même vitesse : l'eau se maintient au même niveau tant que les débits d'entrée et de sortie restent identiques ».

---

[63] En toute rigueur, un système fermé n'échange pas de matière mais peut échanger de l'énergie ; un système ouvert peut échanger de la matière et de l'énergie ; un système adiabatique peut échanger du travail mais pas de la chaleur et enfin un système isolé n'échange ni matière ni énergie.

[64] Dans notre adaptation du concept physique d'Entropie dans le cadre systémique aux sciences sociales (de l'Education et des SIC), , nous trouvons plus de similitude entre le concept d'information et celui de chaleur qu'avec celui de matière car les transformations dans le premier cas sont irréversibles (pneus sur la route : donc la variation d'entropie est positive) alors que dans le deuxième cas l'énergie potentielle (un balle qui tombe) le transformation est réversible et donc la variation d'entropie est nulle. Profitons de ces précisions formelles pour ajouter, avec la même rigueur scientifique, que dans un système fermé $\Delta S = \delta S_{\text{échangé}} + \delta S_{\text{créé}}$.($\delta S_{\text{échangé}} = \Delta Q/T$ et $\delta S_{\text{créé}} > 0$) alors que dans un système isolé $\Delta S = \delta S_{\text{créé}}$ car $\Delta Q/T=0$ puisqu'il n'y a pas d'échange de chaleur avec l'environnement.

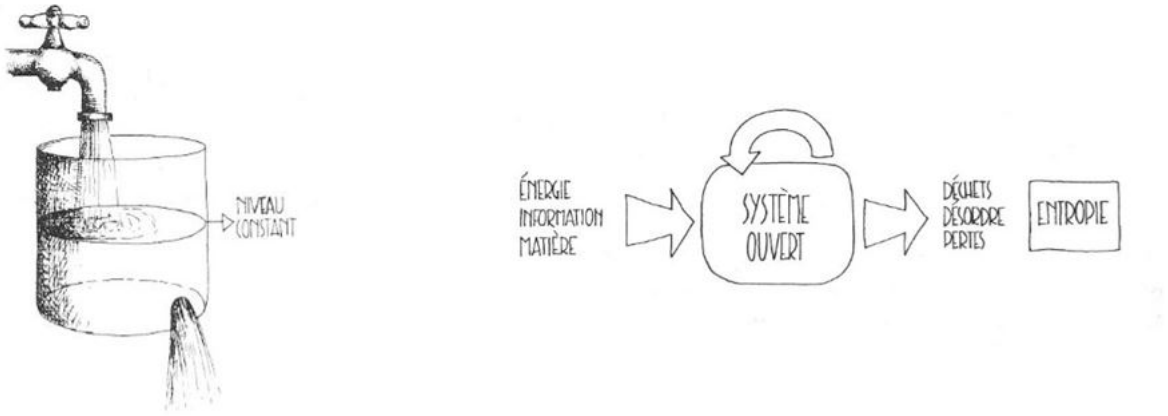


Figure 7. Métaphore d'un système ouvert (De Roynay, 1975, p. 102)

Traitant de l'« approche instrumentale », Contamines, George et Hotte, (2003, p. 6) propose de leur côté une analyse systémique centrée sur l'apprenant perçu comme sous-système d'un système d'activité instrumenté, en proie aux influences de son *environnement*. Ils nous disent en outre que l'approche anthropocentrée des techniques de Rabardel (1995) vise précisément à dépasser ce dualisme matière/esprit pour aborder le développement cognitif du sujet en l'inscrivant dans son *environnement* social et matériel. Citant par ailleurs la théorie interactionniste de Vygotski, ils montrent que l'apprentissage est tributaire de *facteurs extérieurs au système* en faisant référence notamment au patrimoine culturel du sujet qui est extérieur au sujet. De plus, ils nous rappellent que « quels que soient les éléments de controverses autour de l'œuvre de Piaget, ce dernier s'accorde à dire, comme Vygotski, que le mécanisme de la pensée et de son développement, se trouve à la croisée d'une boucle extérieur/intérieur, milieu/sujet » (*Ibid.*). De fait Vygotski et Piaget « ont entamé tous deux le dépassement du dualisme cartésien – *matière/esprit* – pour ancrer le développement cognitif et inscrire le sujet *dans un environnement*. Pour Jean Piaget, ce dernier est matériel. Pour Vygotski, mais aussi Rabardel et Brassac, il est matériel et social. L'approche instrumentale est donc une approche pour laquelle la cognition est située matériellement et socialement » (*Ibid.*).

Les arguments ainsi présentés traduisent chacun à leur manière l'influence de l'environnement physique, sociotechnique et culturel sur le comportement et les processus d'apprentissage des personnes impliquées dans un ENA considéré comme un système. Cette notion de « perméabilité » des frontières entre le système et son environnement s'applique tout autant aux systèmes qu'à ses sous-systèmes (ou blocs) qui le constituent : matériels, logiciels, plate-forme, système de tutorat, organisations, sujets apprenants, acteurs de la formation, etc.). Leurs frontières (ou interfaces) sont le siège des interactions entre les sous-systèmes et entre le système et son environnement. Cet ensemble d'arguments nous conduit à considérer l'ENA comme un système ouvert et à le traiter comme tel par la suite.

2.2.5 L'ENA perçu comme un système d'activité instrumenté

Après avoir été quelque peu délaissées par les chercheurs pendant une dizaine d'années, les théories de l'activité ont resurgi dans les années quatre-vingt sous l'impulsion de certaines recherches portant sur les interactions entre humains et machines (IHM). Plus tard, à partir des années 1990, la nouvelle communauté scientifique des EIAH (Environnements

Informatiques pour l'Apprentissage Humain) qui succéda à celle des IHM, trouvait dans ces théories représentatives de toute action humaine instrumentée (facteurs cognitifs et sociaux, médiation instrumentée, etc.) de solides références théoriques pour étudier les ENA. En lien avec ces travaux, mais aussi avec ceux des contributeurs aux théories de l'activité, nous allons montrer de quelle manière l'« activité », et en l'occurrence « l'activité instrumentée », est progressivement devenue « l'unité d'analyse » de la cognition au sein d'un ENA. Pour y parvenir, nous chercherons notamment à dépasser les catégorisations usuelles corps et esprit, affect et intelligence, action et connaissance, intention et motif, moyens et buts (Linard, 2002, p.146) mais aussi sujet et objet (selon l'approche instrumentale de Rabardel, 1995) pour justifier notre conception systémique des ENA. Nous le ferons précisément en considérant ces différents éléments dans et par leurs conjonctions. Ceci nous conduira par la suite à traiter d'un ENA comme d'un S*ystème d'activité instrumenté*.

2.2.5.1 L'approche historico-culturelle et instrumentale de L.S. Vygotski

Bien que contemporain de Piaget, c'est Vygotski qui se trouve à la source de la Théorie de l'Activité (TA). Celui-ci a en effet été le premier à élaborer une théorie interactionniste qui rend l'apprentissage tributaire de facteurs extérieurs à la personne : les interactions sociales. Ce sont elles qui, selon l'auteur, modèlent les schémas cognitifs que l'individu utilise pour décoder et interpréter les informations qui lui parviennent. L'activité est par nature un agent de développement dans la mesure où elle place le sujet dans une interrelation avec des objets socialement élaborés et ses congénères. De fait, il a installé comme unité d'analyse « l'activité » pour comprendre et expliquer le fonctionnement cognitif humain. Pour lui, « l'activité humaine est insérée dans une matrice sociale, autrement dit dans un système de rapports sociaux où le langage joue un rôle prépondérant » (Vygotski, 1985). L'activité assure une fonction de médiation entre le sujet et le monde, les autres et soi. La médiation est instrumentée et les instruments sont psychologiques. « Ils sont sociaux par nature et non organiques ou individuels ; ils sont destinés au contrôle des processus du comportement propre ou de celui des autres, tout comme la technique est destinée au contrôle des processus de la nature. Dès lors, la pensée humaine se construit lors d'activités avec ses congénères dans un environnement social déterminé ; elle va, dit-il, du social à l'individuel. Cette origine sociale de la pensée se trouve au centre de sa thèse. Pour lui, chaque fonction supérieure apparaît deux fois au cours du développement : d'abord dans une activité collective soutenue par l'enseignant et le groupe social et ensuite lors d'une activité individuelle. C'est donc en deux temps qu'elle devient une propriété intériorisée de la pensée du sujet. L'apprenant commence par raisonner avec les autres, pour ensuite penser pour lui-même et par lui-même. Ce passage de l'interpsychique à l'intrapsychique est une des idées principales du socio-constructivisme. « Le développement ne peut plus être considéré comme indépendant de l'apprentissage, et l'apprentissage ne peut pas être considéré seulement comme une relation « privée » entre un sujet et un objet. Dans ce type d'approche, on considère que les variables sociales sont consubstantielles aux processus d'apprentissage eux-mêmes, et que tout développement résulte des apprentissages, grâce à l'effet des mécanismes interindividuels sur les mécanismes intra individuels » (Roux, 2003). Donc, contrairement à la thèse piagétienne qui place le développement de l'individu en amont de l'apprentissage, c'est-à-dire comme une condition de possibilité de l'apprentissage (respect des stades du développement), la thèse vygotskienne voit dans l'apprentissage une anticipation du développement, à condition toutefois que l'apprenant se trouve dans la zone proximale de développement. « Si l'enfant fait un pas dans l'apprentissage, il avance de deux pas dans son développement » (Vygotski, 1934, 1997).

Par ailleurs, Vygotski a été un des premiers à décrire les rapports existants entre l'enseignement et le développement intellectuel médiatisé par un « apprentissage instrumental » (Vygotski, 1997). « La méthode instrumentale étudie le processus du développement naturel et celui de l'éducation en tant qu'un tout *indissociable,* afin de découvrir comment, à un certain niveau de développement, les fonctions naturelles d'un enfant particulier se sont restructurées » (Vygotski, 1985, p.45). C'est en utilisant des « outils » et « des systèmes de signes », au premier rang desquels figure le langage, que les fonctions intellectuelles se développent. Le langage est d'abord un moyen de communication dans les relations sociales de l'individu. Ce n'est que dans un deuxième temps, en se transformant en langage intérieur, qu'il devient un instrument de la pensée. « L'apprentissage se produit en situation sociale de coopération, lorsque les appareils sémiotiques utilisés par le compagnon d'interaction peuvent être incorporés par l'apprenant » (Crahay, 2001, p.149). C'est donc en s'engageant dans une activité que l'individu apprend à maîtriser les outils qu'il rencontre, à en faire des outils de la pensée en les transformant en schèmes d'action. Sa thèse essentielle pourrait être résumée de la façon suivante : « l'enseignement est un processus de transmission culturelle qui engendre le développement de capacités mentales, non encore maîtrisées par les sujets, et qu'ils construisent par un apprentissage d'outils spécifiques constitutifs des œuvres humaines (littéraires, scientifiques, artistiques …) » (Amigues, 2003). C'est pour cette raison que l'on parle aussi d'une approche historico-culturelle et instrumentale lorsque l'on évoque la thèse vygotskienne.

2.2.5.2 Les développements de Leontiev

Dans le sillage de Vygotski, Leontiev cherche à étudier le psychisme de l'individu en étudiant son activité, laquelle résulterait selon lui d'un besoin supérieur et non plus seulement biologique du sujet à accomplir des actions. Selon lui, le résultat de l'activité serait donc le fruit d'actions entreprises par un individu allant dans le sens déterminé par son objet.

Leontiev (1981, cité par Jermann, 1996) distingue dans cette théorie trois niveaux interactifs de relations entre les sujets et les objets : les activités, les actions et les opérations. Les activités sont intentionnelles, « en relation étroite avec un but conscient, une motivation » (Jermann, 1996). Chaque motif est lié à un besoin d'objet (matériel ou idéel) à satisfaire par le sujet. Elles « peuvent donner lieu à une multiplicité d'actions » (Ibid.) qui sont générées pour satisfaire ce but (l'objet). Par exemple, une *activité* peut consister à réparer une automobile ; l'*objet* étant la réparation de ce véhicule. L'individu (le sujet) réalise un certain nombre d'*actions* (dans notre exemple, acheter les pièces mécaniques, les transporter, les assembler, …) en vue d'atteindre ce but. Pour cela, il est aidé par un ensemble d'outils (ou artefacts) qui servent de médiation entre le sujet et l'objet, outils comprenant non seulement des objets matériels mais aussi des symboles, signes et langages utilisés par le sujet (e.g. la négociation du prix du véhicule pour transporter les pièces de rechange,…).

L'*action* peut être définie comme un processus fonctionnellement subordonné à l'activité, dirigée par son but. « Les actions ont à la fois un aspect orienté, intentionnel (ce qui doit être fait) et instrumental (comment le faire, plan prévu et méthode générale pour atteindre des buts intermédiaires)» (Linard, 1994, 2005)[65]. Elles s'effectuent par des *opérations* qui sont des procédures compilées et inconscientes. Une action peut servir plusieurs activités. L'action de conduire un véhicule par exemple peut servir à transporter des passagers, à déplacer des matériaux ou encore à prouver des qualités de pilotage lors d'une course automobile. Alors

[65] Traduction personnelle de « Actions have both an intentiional, oriental aspect (what is to be done) and an instrumental aspect (how to do it: anticipated plan an general method to reach intermediary goals) » (Linard, 1994 cité par Jermann, 1996, § 2.2.4).

que l'action concrétise l'activité tout en répondant à un besoin authentique et à un objet réel, l'opération découpe l'action en séquences pour en faciliter l'apprentissage. Pour conduire une automobile, des opérations sont nécessaires : passer des vitesses, accélérer, freiner, etc. L'opération ne trouve souvent aucune justification en elle-même et son seul « objet», sa seule motivation est l'appropriation de l'action concernée (conduire). Les opérations peuvent revêtir des formes diverses : situations variées, exécutions partielles d'actions etc. Une activité est associée à un projet, une action à une stratégie et une opération à des conditions nécessaires à son exécution.

« Les actions et les opérations sont dans une relation dynamique qui permet à une action de devenir une opération […] Au fur et à mesure que les actions deviennent des opérations, le sujet peut s'occuper d'actions de plus haut niveau. Lorsque les conditions d'exécution d'une opération ont changé, celle-ci peut à nouveau obtenir le statut d'action pour être spécialisée et adaptée à ces nouvelles conditions » (Jermann, 1996).

Tableau 1. Etages de l'activité de Leontief (1981)

Etages de l'activité	**Dimensions**	**Fonctions**
Activité	Projet (motif, mobile, intention)	Incitation (fonction incitatrice)
Action	Stratégie, planification, but	Orientation
Opérations	Conditions de réalisation (Moyens et procédés)	Réalisation

2.2.5.3 Synthèse entre théories de l'activité et approche systémique

Nous venons de rappeler dans les parties précédentes les grands principes de la systémique ainsi que les fondements de la théorie de l'activité dans le but de fixer un cadre théorique de référence à l'étude de toute activité humaine instrumentée qui se déroule à l'intérieur d'un ENA. Nous ouvrons donc ce nouveau paragraphe dans l'intention de montrer qu'un ENA peut non seulement être considéré comme un lieu qui abrite *des act*ivités *instrumentées* mais aussi, de manière plus englobante et formelle, comme un « S*ystème d'activité instrumentée »*.

Pour Peraya et Bonfils, (2014, p. 4-5), « tout dispositif[66] [dont les auteurs s'accordent à reconnaître leur nature systémique] instrumente l'activité humaine (Rabardel, 1995) et son analyse doit donc être considérée comme *indissociable* de l'analyse de l'activité. Apprendre, communiquer, travailler, produire seul ou ensemble doivent être considérés comme des activités instrumentées [...]. En conséquence, cette définition constitue un cadre d'analyse qui a pour vocation de rendre compte d'une importante diversité des dispositifs concrets,

[66] « Du point de vue théorique, notre définition du dispositif s'inspire des travaux de Foucault et de l'interactionnisme discursif (Bronckart, 1996). Elle considère un dispositif comme une instance d'interaction sociale caractérisée par des dimensions technologiques, sociales et relationnelles, symboliques, sémiotiques et cognitives propres. (Peraya, Bonfils, 2014, p.4-5

empiriques (un système de formation, une salle de classe, un campus numérique, un logiciel de visioconférence, etc.) ainsi que de leur degré de granularité et de complexité (par exemple un environnement numérique de travail, un environnement personnel d'apprentissage ou un simple « outil » de chat) ». En référence à ce degré de granularité et de complexité évoqué par ces auteurs, Basque et Doré (1998, p.40) considèrent « un enseignant et les apprenants comme un système : chaque individu étant un sous-système ou composante dont les actions sont orientées vers le développement de nouvelles connaissances […]. Pour ces auteurs, « l'environnement est susceptible d'abriter plusieurs de ces activités, en plus des outils et du matériel nécessaires pour les réaliser » (*Ibid.*, p. 40).

Nous retenons d'abord de ce qui précède que l'approche systémique ouvre une voie originale et prometteuse pour observer et étudier l'action instrumentée au cœur d'un ENA. « Combinant en permanence connaissance et action, la systémique se présente comme l'alliance indissoluble d'un savoir et d'une pratique » (Donnadieu *et al.*, 2003, p. 1-2). Dans les propos des chercheurs cités, nous remarquons également la volonté de vouloir définitivement mêler au concept de système, ceux d'actions et d'activités en y intégrant les outils et le matériel nécessaires pour les réaliser. Actions et activités sont en outre perçues comme orientées vers un but commun : en l'occurrence l'apprentissage (propriété téléologique propre à la fois aux systèmes et aux théories de l'activité). On note enfin un intérêt marqué pour la diversité des éléments constitutifs du système (la variété des sous-systèmes). Elle revient comme un *leitmotiv* sous l'argument que c'est précisément cette diversité qui permet, in fine, de maintenir l'activité du système.

Ce que nous voyons de fondamentalement commun entre *l'approche systémique* et la *théorie de l'activité*, c'est précisément que ces théories considèrent, d'une part, que le système (pour l'une) et l'activité (pour l'autre) sont orientés vers un but, et d'autre part que ces deux théories appréhendent les phénomènes étudiés de manière conjonctive et non disjonctive.

Nous venons d'apporter quelques arguments quant à l'aspect téléologique (orientées vers un but) de la théorie de l'activité et de la systémique. De son côté, l'approche conjonctive ou englobante de la systémique va de soi puisque c'est une des caractéristiques inhérentes aux systèmes. Reste encore à montrer le caractère holistique (conjonctif et intégratif) des théories de l'activité pour confirmer cette sorte d'« isomorphisme » entre la systémique et la théorie de l'activité. Monique Linard (2002, p. 146) a été l'une des premières à percevoir la nature systémique de ces théories. Ces dernières, dit-elle, « issues des sciences humaines, commencent à être reconnues pour leur pouvoir d'explication et de compréhension des relations entre humains et techniques. Elles refusent la rupture dualiste entre corps et esprit, affect et intelligence, action et connaissance, intention et motif, moyens et buts. Elles font de l'interaction entre sujets, objets et environnement, la base dynamique de construction de l'intelligence, du psychisme, du langage et de la signification. Elles reposent sur le principe, ignoré par le paradigme rationaliste, de la genèse évolutive des structures et des fonctions mentales des individus au sein de leurs relations sociales, à partir de leurs interactions avec leur environnement aussi bien physique que psychologique et socioculturel ». En refusant cette rupture dualiste, Monique Linard entre résolument dans une logique conjonctive qui relie plutôt que sépare et isole les éléments et les variables.

Qui plus est, *l'approche instrumentale* de Rabardel, qui repose sur l'idée qu'un instrument n'est autre que le résultat de l'usage d'un outil (artefact), met en évidence les interactions entre le sujet et l'outil au cours d'une *activité*. Pour lui, « un instrument n'est pas seulement une entité matérielle mais une entité bifaciale, composée d'une composante artefactuelle et d'une composante schématique [au sens du schème piagétien] (Contamines *et al.*, 2003, p. 6). La genèse instrumentale désigne le processus d'élaboration et d'évolution de l'instrument au cours de l'activité. L'outil (artefact) provoque chez l'usager l'envie et le besoin d'apprendre à

s'en servir (instrumentation). En retour, l'usage qu'en fait le sujet fait évoluer l'outil (l'artefact) qui se voit attribuer de nouvelles fonctions autres que celles prévues initialement par le concepteur, c'est ce que Rabardel appelle le processus d'instrumentalisation. Ces interactions permanentes lient l'outil à son usager. Ce n'est qu'en considérant le sujet et ses outils de manière indissociable (conjonctive) qu'il devient intéressant de rendre compte de leur évolution. « L'approche instrumentale, comme généralement les approches constructivistes de la cognition et des activités instrumentées, tend à délaisser la catégorisation usuelle sujet/objet. A ce propos, Jean Piaget avançait que la confrontation "… des sciences aboutit, en fin de compte, à mettre en évidence ce que l'analyse de chaque connaissance particulière souligne d'emblée mais à des degrés divers : l'interdépendance étroite du sujet et de l'objet..." (Piaget, 1970). L'activité devient l'unité d'analyse de la cognition, tout comme c'est le cas pour Vygotski (1997) et ses contemporains qui ont développé la théorie de l'activité » (Contamines *et al.*, 2003, p. 9)

En caractérisant ainsi les théories de l'activité, ces chercheurs confèrent indéniablement à l'*activité instrumentée* un *caractère systémique* que nous traduirons, par « *Système d'activité instrumenté* »

2.2.6 Conclusion

L'approche *systémique* d'un ENA nous a naturellement conduit à étendre cette représentation à son *activité* en faisant référence aux théories du même nom. Nous avons vu que cette activité était résolument *orientée vers un but* (caractéristique propre à un système) au sein d'une organisation *instrumentée*. Nous entendions par organisation instrumentée une organisation cognitive aux prises avec des objets techniques, comme des logiciels par exemple, qui médient[67] et médiatisent[68] *l'activité*. Ces objets « sont des moyens d'action pour les hommes, c'est-à-dire des instruments de leurs actions » (Rabardel, 1995). Selon Rabardel et Bourmaud, (2003, p. 665), ils sont aussi « des composants de systèmes plus généraux qui les intègrent et vont au-delà : les systèmes d'instruments ». Chaque instrument de ce système se lie à son utilisateur par des processus concomitants d'instrumentation et d'instrumentalisation (de genèse instrumentale). Cette *reliance*[69] particulière n'est qu'un exemple du caractère conjonctif des relations entre humains, activité et technique. L'action et la connaissance, l'intention et le motif, les moyens et les buts en sont d'autres. Et cette liste est loin d'être exhaustive. Ainsi les caractères *téléologique* et *conjonctif* propres aux *théories de l'activité* ne peuvent que nous inciter à reconnaître en elles leur nature résolument systémique.

Pour conclure cette deuxième partie de manière plus globale, retenons que la systémique « est non seulement un savoir, mais aussi une pratique et une manière d'entrer dans la complexité » (Donnadieu *et al.*, 2003, p. 7). Et comme nous l'employons très souvent dans nos recherches pour mieux comprendre comment fonctionne un ENA et ainsi orienter l'action des décideurs quels qu'ils soient (responsable politique, de formation, experts, chercheurs, etc.), il nous fallait préalablement identifier clairement l'objet sur lequel portaient nos recherches. C'est chose faite ; il s'agit d'un *ENA perçu comme un « Système d'activité instrumenté* ».

---

[67] Du verbe médier qui signifie « faire office de médiateur » selon le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales : http://www.cnrtl.fr/definition/dmf/m%C3%A9dier1?str=1

[68] Pris dans le sens de « scénariser » l'activité.

[69] « Le concept a été proposé à l'origine par Roger Clausse (en 1963) pour indiquer un "besoin psychosocial (d'information) : de reliance par rapport à l'isolement". Il fut repris et réélaboré à la fin des années 1970 par Marcel Bolle de Bal à partir d'une sociologie des médias. À la notion de connexions, la reliance va ajouter le sens, la finalité, l'insertion dans un système » (Barbier, 2004, p. 5)

3. Modéliser l'activité instrumentée au cœur de l'environnement numérique

3.1 INTRODUCTION

Dès lors que nous sommes confrontés à la complexité d'un phénomène, nous sommes généralement conduits à utiliser un modèle qui permet de transcrire nos perceptions à l'aide d'outils spécifiques pour en faciliter l'analyse et la compréhension. Une fois cette transcription construite et analysée, le phénomène peut être ramené à son contexte d'origine. Comme le disait Paul Valéry « nous n'accédons à nos raisonnements que par les modèles que nous nous sommes construits » et « nous ne raisonnons que sur des modèles » (Valéry, 1975, p. 835). La modélisation est donc la représentation d'un système par un autre, plus facile à appréhender. Elle peut être considérée comme « un processus technique qui permet de représenter, dans un but de connaissance et d'action, un objet ou une situation voire un événement réputés complexes. On l'utilise dans tous les domaines scientifiques concernés par la complexité. Mais la modélisation est aussi un art par lequel le modélisateur exprime sa vision de la réalité qui n'est pas forcément la réalité. En ce sens, la modélisation systémique de la complexité nous renvoie sans détour aux épistémologies constructivistes. « *Pour le constructivisme, la connaissance est construite par le modélisateur qui en a le projet, dans ses interactions permanentes avec les phénomènes qu'il perçoit et qu'il conçoit. Ce processus de construction de connaissance active est au cœur du processus de modélisation des phénomènes ou des systèmes perçus complexes* » (Le Moigne, 1989, p. 23). La même réalité, perçue par deux modélisateurs différents, ne débouchera pas nécessairement sur le même modèle » (Donnadieu *et al.*, 2003, p. 9). Selon cette conception constructiviste de l'apprentissage, la connaissance du phénomène étudié se construit à travers l'élaboration du modèle : le modélisateur est celui qui apprend de son modèle en cherchant des significations au phénomène qu'il modélise. En ce sens, la démarche de modélisation s'oppose aux conceptions empiristes et positivistes de la production de la connaissance qui prétendent que celle-ci ne peut être produite que par des observations répétées (démarches inductives). La théorie falsificationniste de Karl Popper (1994) montre bien les limites des méthodes inductives (ainsi que déductives d'ailleurs). Ce dernier a « consacré son œuvre à mettre à bas une conception déterministe de l'univers et de la société en tirant une conclusion qui contredit directement les conceptions hégéliennes qui restent prédominantes en occident : "*l'avenir est ouvert*". Il n'y a pas de sens prédéterminé, l'avenir sera ce que nous déciderons d'en faire » (Rocher, 1998, p. 4).

« C'est cette production d'intelligibilité en situation perçue *a priori* complexe qui justifie […] l'ambitieux projet de la Science des Systèmes : développer des langages conceptuels qui visent la compréhension du sens plutôt que l'explication de la forme » (Le Moigne, 1994, p. 278). Paul Valéry écrivait « on a toujours cherché des explications, quand c'était des représentations qu'on pouvait seulement essayer d'inventer[70] ».

Les assises épistémologiques de la modélisation systémique étant ainsi posées, il convient maintenant de présenter les différents modèles susceptibles de répondre au besoin énoncé. Pour ce faire, il est possible de les regrouper selon *la fonction* qu'ils remplissent (concevoir, analyser, évaluer, etc.), ou selon *les niveaux d'investigations* choisis par le modélisateur (micro, méso et macros) ou encore selon *le contour du système* à modéliser (dispositif de

[70] P. Valéry, *Cahiers 1*, ed. Pléiade, p. 837 (voir aussi http://www.intelligence-complexite.org/fileadmin/docs/edil26.pdf)

formation, scénario pédagogique, ressources à disposition, etc.). Il est également possible de les classer par *ordre chronologique* car tous ces modèles ont évolué en même temps que les systèmes d'enseignement qu'ils sont censés représenter. En France par exemple, Baron (1994) « explique comment on est passé de systèmes d'enseignement assisté par ordinateur classiques (EAO) à des systèmes d'enseignement intelligemment assisté par ordinateur (EIAO), puis à des environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur (toujours EIAO) ». Il ajoute qu'« une évolution supplémentaire s'est produite dans notre pays à la fin de la décennie, avec l'introduction de la notion d'environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH), appellation toujours en vigueur en 2011, avec un intérêt plus fort pour ce qui relève de l'apprentissage collaboratif et des systèmes distribués de formation » (Baron, 2011, 26 de paragraphe). A chacune de ces générations correspondent des formes de médiations et des modèles pour les représenter. Ces formes de médiation ont en outre été décrites dans différents cadres théoriques (théories de l'activité, théorie des systèmes complexes, …). D'autres possibilités de catégorisation peuvent donc être envisagées selon cette nouvelle dimension.

Ces différentes possibilités de regroupement étant énoncées, nous choisissons de présenter les quelques modèles dont nous aurons à discuter en les classant selon (i) leur fonction et (ii) le contour du système à modéliser.

Nous finirons ce chapitre (iii) par un tour d'horizon des modèles les plus représentatifs de leur catégorie et une description des langages de modélisation qu'ils utilisent.

3.2 MODELISER L'ACTIVITE INSTRUMENTE, OUI, MAIS POURQUOI ?

3.2.1 De quel type de modèle parle-t-on ?

Legendre (1993) distingue deux catégories principales de modèle : le modèle *objet* et le modèle *théorique,* lesquels répondent à des besoins différents.

Le *modèle objet* est vu, selon Mouloud, Jaulin, Tonnelat, Goguel, Guinand, Boudon, Richard, Victorri et Damasch (1999) cité par Harvey & Loiselle, (2009, p. 96), comme un « modèle concret, construit à partir des données expérimentales, qui rend compte aussi fidèlement que possible de certaines des propriétés, géométriques ou fonctionnelles, de l'objet et des lois auxquelles il est soumis »[71]. C'est prioritairement à ce type de modèle que nous faisons référence dans notre intention de modéliser l'activité instrumentée au cœur d'un ENA. Grâce à ces modèles, « il devient possible d'organiser les connaissances en modèles plus facilement communicables, puis d'utiliser certains de ces modèles dans la réflexion et dans l'action […] pour permettre l'organisation des connaissances et rendre l'action plus efficace » (De Rosnay, 1975, p. 92).

De son côté, « le *modèle théorique* permet d'élaborer, à partir du modèle de l'objet, une théorie qui ramène le phénomène étudié à un phénomène plus général (concept) en accord avec l'expérience et confronté avec elle » (op. cit. par Harvey & Loiselle, 2009, p. 96). Dans ce cas, modéliser l'activité instrumentée d'un ENA reviendrait à dégager des invariants, des principes généraux, à la fois structuraux et fonctionnels pouvant les représenter dans leur ensemble ; l'objectif serait de passer du cas particulier à la généralisation.

Pour Backer (2000), les modèles répondent à deux fonctions essentielles que nous rappellent Desmoulins et Grandbastien (2006, p. 161) :

[71] Cette définition d'un "modèle concret" semble empruntée à l'Encyclopaedia Universalis France : « Modèle : Les grands articles », 2016, au chapitre 3 : « Le modèle en biologie ».

- « proposer un cadre conceptuel permettant au concepteur de représenter le monde, en particulier en vue de faire des conjectures sur son comportement » ;
- « fournir des représentations manipulables par l'humain ou par la machine et utiles à leur activité ».

Ainsi, de la manière dont nous l'entendons dans cette note de synthèse, modéliser l'activité instrumentée au cœur d'un ENA revient à décrire dans un système de représentations (souvent de manière visuelle et graphique) des besoins et des solutions fonctionnelles répondant à un projet de *conception* et/ou de *réalisation* d'un environnement numérique d'apprentissage. Ce peut être aussi pour *évaluer* et/ou *analyser* l'activité qui y règne ou encore à des fins *de compréhension*, et/ou *de contrôle* ou encore *de prédiction*.

De nombreux modèles existent pour atteindre l'un de ces objectifs. Certains d'entre eux ont été exclusivement conçus pour remplir une de ces fonctions tandis que d'autres permettent d'en remplir plusieurs à la fois, comme par exemple celles de guider l'ingénierie *et* d'évaluer, d'analyser ou contrôler le comportement du système. Commençons par décrire ces modèles capables d'assurer plusieurs fonctions d'usage avant de passer aux modèles exclusivement conçus pour la conception ou pour l'analyse d'un ENA.

3.2.2 Des modèles à usage multiple

3.2.2.1 Des modèles de « conception » pouvant servir à l'analyse de dispositif

Certains modèles de *conception* d'un ENA peuvent aussi aider à *évaluer* voire *analyser* son activité dans le contexte dans lequel elle se produit. La modélisation d'un scénario d'apprentissage, par exemple, dans un langage EML de type IMS-LD, peut aider le modélisateur à décrire *a priori* ou *a posteriori* le déroulement d'une situation d'apprentissage visant l'appropriation d'un ensemble précis de connaissances (Pernin et Lejeune, 2004, p. 410).

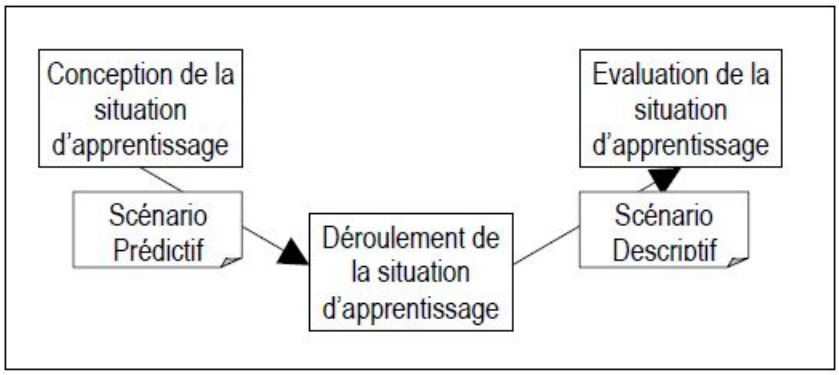


Figure 8. Scénario prédictif et scénario descriptif (Pernin et Lejeune, p. 412).

Ces deux auteurs décrivent ci-dessous ces deux scénarii et donnent pour chacun d'entre eux leurs objectifs:

- « *Un scénario prédictif* est un scénario établi *a priori* par un concepteur en vue de la mise en place d'une situation d'apprentissage, instrumentée ou non par les technologies numériques. La définition d'un scénario prédictif peut poursuivre plusieurs objectifs complémentaires :

• *rationaliser la conception*, en assistant les concepteurs dans la définition des situations d'apprentissage et en leur fournissant des guides méthodologiques. Les concepteurs peuvent être aussi bien des spécialistes impliqués dans un processus d'industrialisation de formation que des enseignants ou formateurs amenés à modifier leurs pratiques de façon plus individuelle ;

• *améliorer l'efficacité du déroulement des situations*

d'apprentissage, en permettant notamment aux acteurs chargés de leur mise en place et de leur suivi de disposer d'un cadre explicite pour mieux orienter les apprenants vers les activités à réaliser ;

• *responsabiliser les apprenants*, en leur rendant explicites les objectifs de l'apprentissage et la structuration des activités qu'ils ont à accomplir. Cette démarche est notamment utilisée dans les contextes d'autoformation ou dans les approches pédagogiques par projets pour lesquelles sont fournies des feuilles de route ;

• *rationaliser l'évaluation des apprenants*, en disposant d'un moyen de mesurer les écarts entre l'activité effective d'un apprenant (ou groupe d'apprenants) et celle décrite au sein d'un scénario-type défini a priori. Ce type d'approche s'appuie sur les théories comportementalistes de l'apprentissage.

- *Un scénario descriptif* est un scénario décrivant a posteriori le déroulement effectif d'une situation d'apprentissage, en y incluant en particulier les traces de l'activité des acteurs et leurs productions. L'usage des scénarios descriptifs peut poursuivre différents objectifs :

• *procéder à une évaluation didactique des situations d'apprentissage*, en utilisant les événements et traces d'apprentissage rencontrés en situation réelle pour inférer ou vérifier des hypothèses sur l'appropriation effective des connaissances. Cette démarche est fréquemment utilisée dans le domaine de la psychologie expérimentaliste ;

• *aider à l'évaluation des apprenants*, en analysant l'ensemble des traces collectées et en les comparant éventuellement avec un modèle idéal prédéfini ; contribuer à la constitution des profils, permettant d'individualiser l'apprentissage. Commentaire : La spécification IMS-LD se place clairement dans une optique de scénario prédictif où il s'agit de décrire a priori une situation d'apprentissage. Il est à remarquer que les implémentations proposées insistent sur les arguments de rationalisation de la conception et de l'évaluation, le plus souvent dans un cadre d'industrialisation de la formation » (*Ibid.* p. 412)

3.2.2.2 Des modèles « d'analyse » de l'activité pouvant servir à la conception de dispositif

Inversement, il est possible d'améliorer les démarches de conception en s'appuyant sur des modèles d'analyse de l'activité. Celui d'Engeström (1987) par exemple peut faciliter dans certain cas cette conception alors qu'il est initialement conçu pour en faire l'analyse. Bjørklia, Røedb, Bjellandb, Gouldc, et Hoffd, (2007, p. 171) ont montré comment ce modèle leur a été utile pour concevoir le système de navigation d'un navire : plus précisément une commande de direction automatisée. En partant de la description de la navigation, ils ont pu concevoir cet outil spécifique. Dans leur étude, le modèle d'Engeström « leur a fourni un cadre qui permet de décrire de manière cohérente les personnes impliquées dans la navigation du navire, leur utilisation des outils, et ce qui a dirigé leur comportement » (Bjørklia *et al.*, p. 176). De plus, il leur a fourni une base pour un langage de conception qui a été utilisé dans la conception d'un instrument (*course and track pilot*) qui avait pour fonction de remplacer l'homme de barre. « Cette étude avance le fait que l'utilisation de la théorie de l'activité peut contribuer de manière importante à un processus de conception » (*Ibid.*, p. 176). D'ailleurs, les travaux de

Jonassen (2000) en témoignent lorsque celui-ci revisite la théorie de l'activité en tant que cadre pour la conception d'environnements d'apprentissage centrés sur l'étudiant[72].

3.2.2.3 Synthèse

Ainsi, bon nombre de ces modèles permettent de couvrir l'ensemble du cycle de vie des ENA (analyse, conception, utilisation, retour d'expériences, re-conceptualisation, etc.) et d'assurer, selon l'usage que l'on en fait, une ou plusieurs de ces fonctions.

3.2.3 Des modèles à usage spécifique

3.2.3.1 Modéliser pour concevoir un environnement numérique d'apprentissage

Il existe de nombreux modèles qui répondent à ce besoin que nous pourrions qualifier d'*instructional design* (ID) ou de *learning design* (*B*aron, 2011, 26 de paragraphe). Cette diversité dans l'offre témoigne de l'importance de cette étape de modélisation préalable dans le cycle de développement de ce type d'environnement[73]. Dans son ouvrage *The conditions of learning*, dont la première édition remonte à 1965, Gagné (1968) ouvre la voie à *l'instructional design* dont l'objectif consiste à étudier, concevoir, réaliser et adapter des dispositifs d'enseignement, des formations, ou des cours. *L'instructional design* relève donc de ce que nous appelons communément en France de l'ingénierie pédagogique, qui traite notamment du *développement* de scénarios pédagogiques ou d'ingénierie de formation qui sont supposés favoriser l'apprentissage. « En sciences de l'éducation, la démarche de développement d'un produit est désignée sous diverses appellations : modèles de *design* pédagogique, ingénierie de la formation des systèmes d'apprentissages, modèle de développement, méthode de développement ou encore séquence de développement » (Harvey & Loiselle, 2009, p. 97). Ces auteurs constatent que la multiplicité des appellations entourant la recherche développement provoque parfois une certaine confusion. Citant Richey et Nelson (1996), ils font notamment remarquer « l'ambiguïté qui existe entre les modèles de *design* pédagogique et ceux dits de recherche développement. Ils soulignent que la présence d'une terminologie aussi éclatée laisse place à une multitude d'interprétations occasionnant un enchevêtrement qui en réduit souvent la compréhension » (*Ibid.* p. 97).

Précisons que l'*instructional design* (ID) est « un champ de recherche anglo-saxon s'intéressant aux aspects prescriptifs de la conception de l'enseignement, c'est-à-dire à la manière dont on peut organiser ce dernier pour qu'il soit le plus efficace possible (Dessus, 2006, p. 137). Ce dernier reprend en détail les différentes terminologies dans une note de synthèse. Il explicite en outre la fonction et la place du « modèle » dans le champ de l'*instructional design* :

> « Un modèle d'*instructional design* serait une application pratique de la théorie, et serait donc plutôt utilisé pour la construction d'instanciations de certaines conceptions de l'enseignement ou de l'apprentissage (e.g. béhavioristes, constructivistes). C'est pourquoi les modèles d'ID sont rarement testés : ils ne sont pas censés reproduire, *décrire*, une partie la réalité, mais *prescrire* une procédure et être efficaces. Nous avons préféré, pour simplifier notre propos, utiliser uniformément ici le terme de "modèle" plutôt que celui de méthode [dit-il]. Si l'on laisse d'emblée

[72] Revisiting activity theory as a framework for designing student-centered learning environments.

[73] Pour être plus précis encore, David Merrill (http://mdavidmerrill.com/Papers/papers.htm) « distingue le "développement" de systèmes d'instruction (*instructional systems*) de la "théorie" de *l'instructional design*. Cette dernière doit, selon lui, posséder trois composants : deux théories "descriptives" (du savoir et de la stratégie d'enseignement) et une théorie "prescriptive" reliant savoir à acquérir et stratégies à employer pour favoriser l'apprentissage, composée de règles du type : si (apprentissage de tel savoir), alors (telle stratégie) » (Baron, 2011, 19 de paragraphe).

> de côté la notion de modèle formel, décrivant un processus dans un langage mathématique, un consensus semble s'être réalisé à propos de l'idée qu'un modèle est une simplification d'un phénomène que l'on désire étudier, simplification qui favorise l'observation, la description, ou la prédiction du phénomène. Nous parlons donc bien ici d'objets participant, selon Simon (2004), d'une *science de la conception*, ou d'une ingénierie, c'est-à-dire d'une discipline montrant comment les choses *devraient être* ». Et les modèles [que l'auteur décrit dans cette note de synthèse] sont bien des simplifications du phénomène de la conception de l'enseignement, des rationalisations en vue de le rendre plus efficace » (Ibid., 139).

Les modèles que Philippe Dessus décrit dans sa note de synthèse permettent de concevoir l'enseignement, c'est-à-dire de prescrire la manière dont celui-ci doit s'organiser pour qu'il soit le plus efficace possible. Il est d'ailleurs important de souligner que ces modèles ne sont ni des *modèles théoriques* au sens où l'entend Legendre (1993), *ni encore des modèles objets* auxquels nous nous intéressons : il s'agit avant tout de méthode ou de description de procédures.

Tout un champ de recherche s'est ouvert dans les années quatre-vingt rassemblant principalement des ingénieurs et quelques chercheurs en sciences humaines pour réfléchir à la façon de concevoir des architectures qui soient à la fois ergonomiques, efficaces et faciles à utiliser dans le but de favoriser les interactions entre humains et ordinateur (interactivité) ou entre humains (interactions) à l'aide d'ordinateurs : les IHM (Interactions Homme-Machine). Ce faisant, les chercheurs en sciences humaines investissent de plus en plus ce domaine et s'associent aux informaticiens et chercheurs en informatique pour créer un champ scientifique transdisciplinaire qui a pour but d'étudier la façon de développer des artefacts informatiques pour accompagner, voire améliorer les processus d'apprentissage et d'enseignement dans des environnements informatiques. C'est au début des années 2000 que cette tendance se concrétise par le rapprochement progressif des problématiques et des approches des communautés scientifiques participant aux conférences *Hypermédias et Apprentissage* et les journées *Environnements Interactifs d'Apprentissage par Ordinateurs*. Dans le cadre de l'ATIEF[74], ces communautés ont décidé de concrétiser ce rapprochement en fusionnant ces deux conférences en une seule, appelée *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*[75] (EIAH) ». La première d'entre elles a eu lieu à Strasbourg en avril 2003 et celle de 2017 aura également lieu à Strasbourg en juin. Nous avons d'ailleurs eu l'honneur d'avoir été désigné par l'ATIEF pour en être le président du comité d'organisation. Ce champ scientifique transdisciplinaire est donc à la fois un objet empirique (un environnement d'apprentissage) mais aussi un objet de recherche qui porte désormais le même nom : EIAH. Et « le terme de *conception* d'un EIAH renvoie au fait d'imaginer, de penser, d'élaborer, de représenter un artefact informatique en tenant compte des objectifs pédagogiques poursuivis et des contraintes de natures diverses pouvant s'exercer, et donc en particulier des situations pédagogiques visées » (Tchounikine, 2009, p.1). L'objet des travaux de recherche relatifs aux EIAH se précise alors : il consiste à « étudier les situations pédagogiques informatisées et les logiciels qui permettent ces situations » (Tchounikine, 2009, p.1). Puis, avec l'essor des langages de programmation, on assiste progressivement au développement *de langages graphiques de représentation* dont la fonction est précisément de faciliter la conception de ce type d'environnement. Les modèles procéduraux (pour ne pas dire théoriques) d'*instructional design* comme les modèles « linéaires, issus du béhaviorisme et centrés sur les connaissances, cognitivistes, centrés sur l'apprentissage, et constructivistes, prenant en compte le monde du travail » (Dessus 2006, p. 138 cité par Baron, 2011, 38 de paragraphe) font de plus en plus appel à des graphiques pour représenter les procédures et l'enchaînement des actions. Les

[74] Association des Technologies de l'Information pour l'Education et la Formation.

[75] Introduction de C.Desmoulins, P. Marquet, Denis Bouhineau, des « Actes de la conférence EIAH 2003 », Strasbourg, 15,16, et 17 avril.

concepteurs ont ainsi besoin de *modèles visuels* pour comprendre dans sa totalité le système qu'ils veulent construire. Comme Seel (1997 cité par Dessus 2006, p. 138) l'a noté, « le rapport théorie/modèle dans le champ de l'ID est différent de celui communément accepté dans le champ de la philosophie des sciences. Dans ce dernier, un modèle (théorique, selon Seel) est une version locale d'une théorie, alors qu'en ID, seule la théorie nécessite une preuve empirique : un modèle d'ID serait une application pratique de la théorie et serait donc plutôt utilisé pour la construction d'instanciations de certaines conceptions de l'enseignement ou de l'apprentissage (e.g. béhavioristes, constructivistes) » (Dessus 2006, p.138). Ces instanciations peuvent en outre être représentées graphiquement pour faciliter la démarche du concepteur : il s'agit alors de schémas ou de modèles visuels. « Les schémas servent de soutien à la résolution de problèmes et à l'accomplissement de tâches complexes. Ils permettent de repérer les données, de déterminer le but à atteindre ainsi que les contraintes à respecter, puis de construire un plan de solution et de l'exécuter » (Paquette, 2002, p. 34). La modélisation graphique et visuelle est au cœur de la méthode d'ingénierie pédagogique. Selon Paquette (2002, p. 42), « elle permet d'atteindre quatre buts :

- Visualiser un système tel qu'il est ou tel que nous voudrions qu'il soit ;
- Spécifier la structure et le comportement du système ;
- Obtenir des plans et devis qui guideront la construction du système ;
- Documenter par la suite les décisions que nous avons prises ».

Ces modèlent graphiques sont nombreux et ont évolué avec le temps, les psychologies cognitives et les conceptions de l'enseignement qui en résultent. Dessus concluait par l'idée partagée par Baron (2011, 38 de paragraphe) qu'il n'y a pas eu dans cette évolution de rupture franche « mais plutôt des réadaptations des modèles afin qu'ils restent compatibles avec ce que l'on peut penser de l'activité réelle de l'enseignement ».

Nous donnerons au § 3.5 quelques exemples de modèles de conception d'ENA et discuterons néanmoins d'un possible changement de paradigme dans l'art de concevoir et modéliser les environnements numériques d'apprentissage de dernière génération comme les MOOC.

Pour clore ce paragraphe, nous renvoyons le lecteur intéressé par une description détaillée des différents modèles de recherche développement issues du domaine de l'éducation à l'article de Harvey & Loiselle (2009) accessible en ligne.

3.2.3.2 Modéliser pour analyser un environnement numérique d'apprentissage

Les modèles de conception d'ENA vus précédemment peuvent aussi être utilisés pour *analyser* l'activité instrumentée une fois le dispositif ou l'interface conçue et réalisée. Mais il existe aussi des modèles spécifiques qui sont exclusivement dédiés à *l'analyse* des dispositifs de formation notamment pour juger de l'adéquation qui peut exister entre les objectifs visés par les concepteurs ou les enseignants et leur réalisation plus ou moins effectives. A partir d'un scénario pédagogique créé par un enseignant ou un concepteur par exemple, il devient grâce à ces modèles possible d'entreprendre une comparaison de son activité réelle avec une activité prédéterminée dans un modèle, puis de comparer l'activité des élèves à des activités également prédéterminée, et enfin de comparer ces activités à l'approche pédagogique choisie par le maître. Le modèle aide ainsi l'enseignant ou le concepteur à confirmer que ces trois aspects concordent. Des modèles ont été élaborés et testés à cet effet par plusieurs chercheurs, comme par exemple ceux proposés par un collectif de l'Université de Sherbrooke dirigé par Desrosiers (2013). Ces modèles s'appuient sur « des travaux d'auteurs connus dans l'enseignement postsecondaire comme la méta-recherche de Christian Barrette (2011, 2009,

2005); le modèle de la motivation scolaire de Rolland Viau (2009) et le modèle des "valeurs ajoutées" de l'équipe de Docqs, Lebrun et Smidts (2010) » (Ibid., p. 3). Ces modèles permettent en particulier l'analyse de pratiques pédagogiques médiatisées par les technologies inspirées du socioconstructivisme et centrées sur l'apprentissage tout en favorisant la motivation scolaire.

Il serait beaucoup trop long et certainement inutile à ce stade de passer en revue l'ensemble des modèles d'analyse de l'activité instrumentée qui ont été proposés ces dernières décennies tant ils sont nombreux. Mais s'il est un modèle qui a véritablement marqué cette intention en ce début de siècle dans la communauté des chercheurs en EIAH, c'est sans nul doute celui d'Engeström (1987). Il représente un modèle de référence qui est très vite devenu central dans notre thèse (Trestini, 2005) et nos recherches. Son emploi, dans l'analyse des systèmes, sera largement discuté par la suite et fera l'objet d'une étude « contradictoire » approfondie. Ce modèle ancré dans la théorie de l'activité place celle-ci dans un courant de pensée qui rendait au mieux compte, dans les années 2000, des phénomènes d'apprentissage par système technique interposé (Beliste & Linard, 1996).

Dans ce modèle, une famille de règles plus ou moins explicites médiatise la relation entre le sujet et la communauté ; la « division du travail » médiatise quant à elle la relation qui s'établit entre la communauté et l'objet de l'activité. D'un point de vue méthodologique, ce sont le comportement de chacun des constituants du système d'activité et les tensions ou contradictions qui apparaissent en son sein qui ont permis de comprendre l'évolution de l'activité. Ces contradictions s'observent à différents niveaux : primaire (à l'intérieur des différents pôles eux-mêmes), secondaire (entre les différents pôles), tertiaire (entre activités similaires mettant en jeu des motifs différents), et enfin quaternaire (relevant de réseaux d'activités similaires, c'est-à-dire centrale et connexes).

Ce modèle d'analyse nous permet de considérer l'activité comme une unité de base du développement humain. L'activité vise en effet à transformer l'environnement tout en transformant ceux qui s'y impliquent. Cette transformation est opérée à l'aide d'instruments qui relient les hommes au monde des choses et aux autres hommes. Par son activité, l'homme s'enrichit de toute l'expérience de l'humanité.

3.2.3.3 Modéliser pour évaluer un environnement numérique d'apprentissage

L'évaluation va se caractériser par le recours à des méthodes de recherche propres aux sciences de l'éducation dans le but d'apprécier les effets de ces environnements d'apprentissage considérés comme des dispositifs d'enseignement ou de formation. Elle consiste à considérer l'application d'une méthode d'enseignement particulière comme « la mise à l'épreuve d'une hypothèse, implicite ou explicite, qui la sous-tend » (Nioche, 1982 p. 36). Si par exemple, un enseignant d'ENA propose un travail collaboratif pour éviter le décrochage des élèves, c'est qu'il fait l'hypothèse que cette modalité de travail est déterminante dans ce qu'elle peut provoquer comme décrochage ou non décrochage. L'évaluation consistera donc à s'assurer que tel est bien le cas et que la baisse du décrochage est bien à l'origine de ces résultats.

Les objectifs de l'évaluation peuvent être multiples. Le plus souvent, il s'agit d'apprécier la réussite ou l'échec de la stratégie mise en œuvre. La complexité des situations auxquelles sont confrontés les ENA incite à recourir à des méthodes de nature explicative propre à la recherche évaluative en ne se limitant pas au modèle technologique et expérimental qui prédomine dans l'évaluation mais au contraire en resituant l'évaluation dans la perspective plus large de l'analyse des systèmes d'activités. Choisir de prendre les processus d'action comme unité d'analyse serait ainsi un bon début.

En matière de système d'activité, cela consisterait en quelque sorte à passer de ce que l'on appelle en pédagogie l'évaluation « sommative » à l'évaluation « formative » (Scriven, 1967 ; Nioche, 1977). L'évaluation « sommative » en pédagogie est celle qui, intervenant à la fin de l'enseignement, fait le bilan des acquisitions de l'élève. Elle rend compte à l'institution, aux parents du niveau d'un élève au moment de l'évaluation. Il s'agit donc d'un constat qui ne propose rien en retour et il n'y a donc rien de formatif dans cette évaluation. L'évaluation « formative » quant à elle se confond avec l'acte d'enseignement. Elle consiste à situer l'action éducative dans une perspective de progression (au sens de progrès attendus) par des allers-retours permanents entre les processus d'évaluation et ceux de remédiation qui sont mis en œuvre immédiatement après. « Elle permet à l'élève et au maître d'apprécier périodiquement le niveau et le rythme des acquisitions ainsi que le pourquoi de ce niveau et de ce rythme, afin de permettre une adaptation de l'enseignement. Cette évaluation permet de dépasser le modèle "objectifs-résultats" » (Nioche 1982, p. 55). Au-delà de l'appréciation qu'il sera possible de porter sur la réussite ou l'échec de l'ENA vu comme un système d'activité instrumenté, cette évaluation permettra un apprentissage « si elle exhibe et explique les effets non prévus des programmes, si elle agit comme révélateurs de préférences en faisant émerger des objectifs confus ou cachés, si elle met à jour les théories implicites qu'il y a dernière les pratiques » (Nioche, 1982, p. 55) en l'occurrence pédagogiques.

Une autre façon d'évaluer un environnement numérique d'apprentissage consiste à le comparer à un modèle (Dambreville, 2008). Cet auteur distingue trois dimensions principales d'évaluation d'un système interactif : l'utilité, l'utilisabilité, l'esthétique. Pour lui, l'utilité qu'il subdivise en plusieurs critères est la plus importante de ces dimensions. En effet, un système interactif d'apprentissage qui présenterait une faible utilité ne répondrait pas ou juste partiellement aux objectifs de formation. Ainsi, l'utilité pourrait se subdiviser en différents observables : capacité fonctionnelle, performances du système, fiabilité, contenu, qualité de l'assistance, scénario, métaphores.

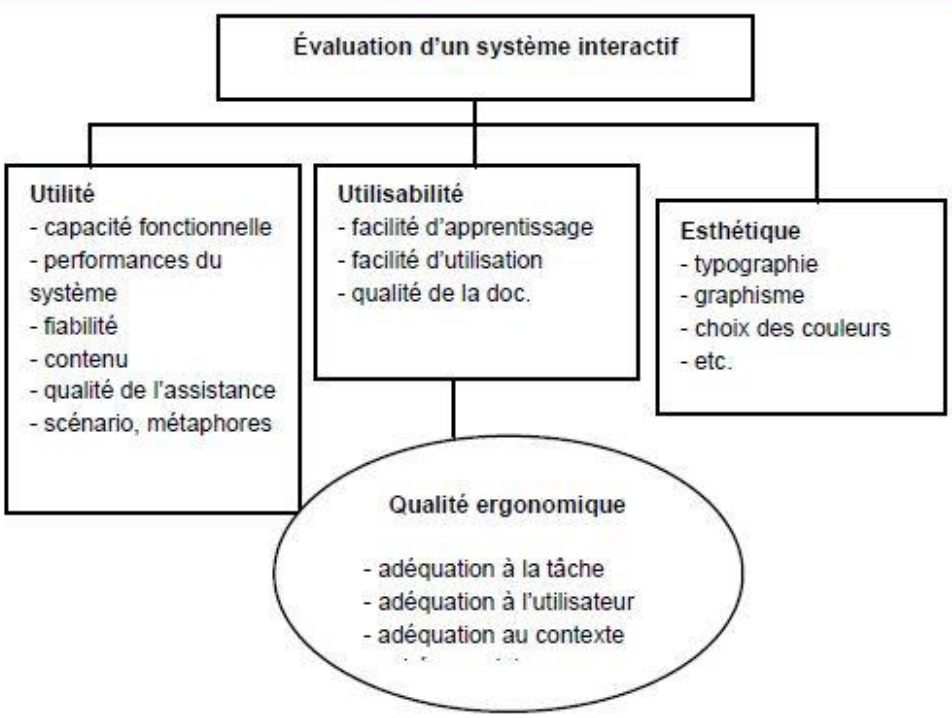


Figure 9. Dimensions d'évaluation, adapté par Dambreville (2008) d'après Senach (1993).

3.2.3.4 Modéliser pour anticiper l'émergence de comportements nouveaux

Pour pouvoir élaborer des scénarios plausibles de ce que pourrait être le comportement d'un système dans le futur (en l'occurrence un ENA), il nous faut un modèle qui, sur la base des données qu'il permet de fournir, rend possible l'analyse de certains *facteurs d'incertitudes* à croiser (ou à mettre en tension) avec des *tendances lourdes*, des *attracteurs*, conduisant à l'élaboration de *scénarios* plausibles. Le Moigne (1999, p.41) le rappelle : l'incomplétude d'un modèle [facteurs d'incertitude] « ne constituera pas une imperfection regrettable, mais une condition nécessaire à l'anticipation, par simulation, d'émergences possibles de comportements nouveaux au sein de ce système complexe ». Il ne s'agit évidemment pas de divination qui, par des présages tout relatifs, découvre ce qui est caché dans l'avenir, mais plutôt de s'appuyer sur les données fournies par le modèle pour dégager des phénomènes émergents (ou propriétés émergentes). Par exemple, un scénario plausible peut résulter d'une combinaison cohérente de réponses apportées aux questions que soulèvent des facteurs d'incertitudes. Puis, confrontés à des scénarios contrastés, une analyse plus fine peut être envisagée afin de faire ressortir les convergences et les divergences de chacun d'eux (Cf. Volume 2 : 5, 7).

Il nous faut néanmoins resté prudent vis-à-vis du cadre conceptuel dans lequel se construisent habituellement ces scénarios. Il existe en effet un débat chez les spécialistes du domaine sur le statut de la pratique prospective que nous ne pouvons feindre d'ignorer. « Si l'on fait abstraction des infinies variations imputables à tel ou tel individu, on peut dire que, depuis le début des années 1970, deux tendances s'opposent : les partisans d'une « prospective-attitude » et ceux d'une « prospective-science ». Pour les premiers, dans la continuité des fondateurs de l'école française de prospective (Gaston Berger et Hugues de Jouvenel), la prospective est un « regard » particulier porté sur le long terme et qui puise en cas de besoin dans les méthodes et les acquis des sciences sociales. Pour les seconds, la prospective est elle-même une science, une branche des sciences sociales » Tolila (1997). Ceci dit, nous serions plutôt du côté des partisans d'une « prospectives-attitude » mais cette question ne semble pas réclamer de notre part un positionnement immédiat dans ce débat. Ce qui sûr, c'est que notre démarche n'est pas militante ; elle ne cherche pas à faire de la prospective une science.

3.2.3.5 Modéliser pour personnaliser l'environnement d'apprentissage

Comme le rappelle Lefevre et Molinari dans le cadre d'un appel à projet[76] pour les ORPHEE RDV de janvier 2017, « la question de la personnalisation des environnements d'apprentissage peut être abordée sous différents angles ainsi que dans divers contextes éducatifs. Elle peut concerner l'apprentissage en présence ou à distance, la formation académique ou professionnelle, et peut être mise en œuvre dans des environnements aussi variés que les hypertextes (e.g. sites Web), les tuteurs intelligents, les jeux sérieux, les MOOC et autres cours en ligne. Elle s'adresse à des apprenants tout-venants ou à besoins spécifiques, à un apprenant travaillant seul ou à des apprenants travaillant en groupe, et répond à des objectifs pédagogiques multiples notamment celui de promouvoir l'autonomie et l'autorégulation de l'apprentissage. La personnalisation peut notamment porter sur la recommandation contextuelle de ressources, l'utilisation de supports adaptés, la prise en compte de l'état affectif et cognitif des apprenants. Cette personnalisation peut être voulue par plusieurs acteurs (les apprenants eux-mêmes, les équipes pédagogiques), et les approches proposées

[76] Appel à soumission de l'atelier "Personnalisation et adaptation dans les environnements d'apprentissage : Un regard interdisciplinaire sur les perspectives de recherche" dans le cadre des ORPHEE RDV de janvier 2017.

varient en laissant le contrôle de la personnalisation tantôt à l'apprenant, tantôt aux équipes pédagogiques, tantôt aux techniques d'intelligence artificielle ».

Ainsi, si les ENA offrent de nouveaux moyens d'apprendre, de nouvelles approches et de nouveaux contextes d'apprentissage, ils sont néanmoins tenus de fournir à l'apprenant des parcours pédagogiques et des contenus d'enseignement adaptés à leur besoin et à leur profil. Le développement de systèmes pédagogiques adaptatifs vise à répondre à cet objectif (Cf. § 3.4.3).

3.3 CONTOUR, COMPOSANTS ET NIVEAUX HIERARCHIQUES D'UN STYSTEME D'ACTIVITE INSTRUMENTE

Modéliser un environnement numérique d'apprentissage, c'est d'abord tracer le contour d'un monde que l'on souhaite étudier ou construire, « qu'il s'agisse d'une réalité particulière dont il importe de reconnaître les composants, d'une réalité agissante dont il faut identifier les actions, ou même d'une réalité en devenir dont il faut déterminer l'évolution » (Lemire 2008, p. 104). Nous donnons dans la préface de l'ouvrage précité (Cf. Volume 2 : 3) une description des composants qui constituent ce monde : « il agrège des humains aux prises avec des artefacts techniques, pédagogiques, didactiques, destinés à l'organisation cognitive formée d'une grande variété de composants ou d'éléments en interaction qui sont de surcroit imbriqués et organisés en niveaux hiérarchiques » (Trestini, 2008, p.9). Mais, faut-il le préciser, « typiquement, un système complexe ne souffre pas de fragmentation en systèmes sous-jacents plus fins. Il est insécable ; si des fragmentations s'imposent, c'est pour pouvoir délimiter les contours de ses composants » (Ibid., p. 35).

3.3.1 Périmètre, objet et composants

Au vu de la diversité des environnements numériques d'apprentissage actuels, la modélisation peut tout autant porter sur des objets relativement « simples » comme par exemple un logiciel pédagogique que sur des objets plus complexes comme l'EAD, la FOAD, les campus virtuel ou encore les MOOC qui incluent toutes les fonctions pédagogiques et non pédagogiques d'un programme de formation, d'une offre facultaire ou universitaire, voire même d'une offre de formation nationale (e.g. FUN). De plus, ces objets ou dispositifs introduisent très souvent des approches pédagogiques multimodales comme le *blended learning*, les parcours hybrides, la formation ouverte et à distance, etc. Ils sont construits « en fonction d'un public (et éventuellement une institution), d'objectifs et de conditions de travail particuliers » (Pothier, 2003, 81 de paragraphe) et mettent en œuvre des moyens humains et matériels. Tous ces dispositifs multimodaux requièrent une approche hiérarchisée des modalités ou techniques pédagogiques. Il convient donc de prendre le recul nécessaire pour circonscrire convenablement le système à modéliser en se plaçant toujours au bon niveau d'observation ou d'investigation. Au niveau supérieur, se trouve justement la « modalité multimodale » ; on lui attribue généralement les termes de dispositif[77], d'architecture mixte, parfois de parcours hybrides. « La modalité multimodale est, si l'on peut s'exprimer ainsi, hors catégorie dans notre hiérarchisation des modalités ou techniques pédagogiques » (Dennery, 2013, 30 juillet). Elle couvre les trois niveaux inférieurs macro, méso et micro.

[77] Rappelons ce que, « en tant qu'objet de recherche, un *environnement d'apprentissage* doit d'abord être considéré comme *un dispositif* au sens de notre définition générale. Mais il s'agit d'un dispositif répondant à une configuration particulière relativement aux agents qui les construisent, aux buts que ces derniers lui assignent, aux usages qu'il permet, aux dispositifs particuliers qui le composent, etc. » (Peraya, Bonfils, 2014, p. 5).

3.3.2 Trois niveaux (macro, méso, micro) associés à des processus métiers

Cette hiérarchisation nous renvoie sans surprise aux trois niveaux d'utilisation du terme de dispositif repérés par Demaizière (2008, 19 de paragraphe) et aux processus métiers qui leur sont associés : celui de la conception de formations (ingénierie de formation), celui de la construction de séquences pédagogiques (ingénierie pédagogique) et celui de la conception de ressources ou d'outils spécifiques. Demaizière lui-même reconnaît « qu'il est difficile de trouver un concept ou une perspective unificateurs derrière le terme « dispositif » tant les usages varient […]. De l'outil envisagé isolément ou bien présenté dans une séquence de formation au point de vue globalisant de l'ingénieur de formation, on retrouve le terme à ces trois niveaux, chacun l'envisageant de manière privilégiée dans l'une des perspectives selon sa culture » (*Ibid.*, 19 de paragraphe).

Le niveau *macro* relève donc de ce qu'il est convenu d'appeler de l'*ingénierie de formation*. Il porte sur une modalité d'apprentissage (distancielle, présentielle ou expériencielle), précise le co-fondateur et directeur associé de C-CAMPUS. « Chacune de ces trois modalités correspondent en fait à trois grandes familles pédagogiques que l'on peut caractériser par leur contexte pédagogique. Les deux premières entrent dans un cadre formel d'apprentissage où l'intention première est d'apprendre. A l'inverse, la troisième regroupe les modalités informelles d'apprentissage. L'apprentissage n'est qu'un bénéfice collatéral de l'activité ou de la situation de travail » (Dennery, 2013, 30 juillet). Les objets sur lesquels porte la modélisation sont dans ce cas tous ceux qui constituent l'une de ces modalités placée dans un environnement social, culturel, économique et politique. « Le terme macro précise qu'il s'agit d'un niveau supérieur de catégorie de techniques pédagogiques » (*Ibid.*).

Le niveau *méso* correspond à de l'*ingénierie pédagogique*. Il concerne les stratégies mises en œuvre pour faciliter les apprentissages. « Chaque modalité d'apprentissage ou macro pédagogie se décline en activités pédagogiques. Il s'agit par exemple de jeux de rôles, d'exposé ou de quiz pour des formations présentielles, de serious games, e-learning, social learning, e-reading pour les formations distancielles, ou encore de mentorat, tutorat, parrainage ou de groupes de partage des bonnes pratiques pour les formations expériencielles. Ces activités peuvent faire appel à des technologies digitales » (*Ibid.*).

Enfin le niveau micro porte en particulier sur la nature (texte, son, vidéo), la structure et la qualité des cours ou sur l'efficacité des outils (quiz, …). « Depuis quelques années, avec l'introduction du e-learning et du renouveau des formations expériencielles, le niveau de l'activité pédagogique ne suffit plus pour concevoir efficacement une formation. La scénarisation doit être beaucoup plus micro et des activités bien plus fines doivent être imaginées. Dans un stage classique, on parlait d'exposé et d'étude de cas ou de travaux pratiques, et cela suffisait. Dans une formation *blended*, on doit imaginer des modules de e-learning intégrant des micro-activités de quelques minutes telles que la consultation d'une vidéo, d'une infographie ou d'un mini quiz. Dans le tutorat, on est amené à bâtir des parcours intégrant des microtechniques telles que le doublon, le feed-back, l'explication flash, la mission apprenante… On qualifiera donc de micro pédagogie toutes ces activités ou techniques » (Ibid.).

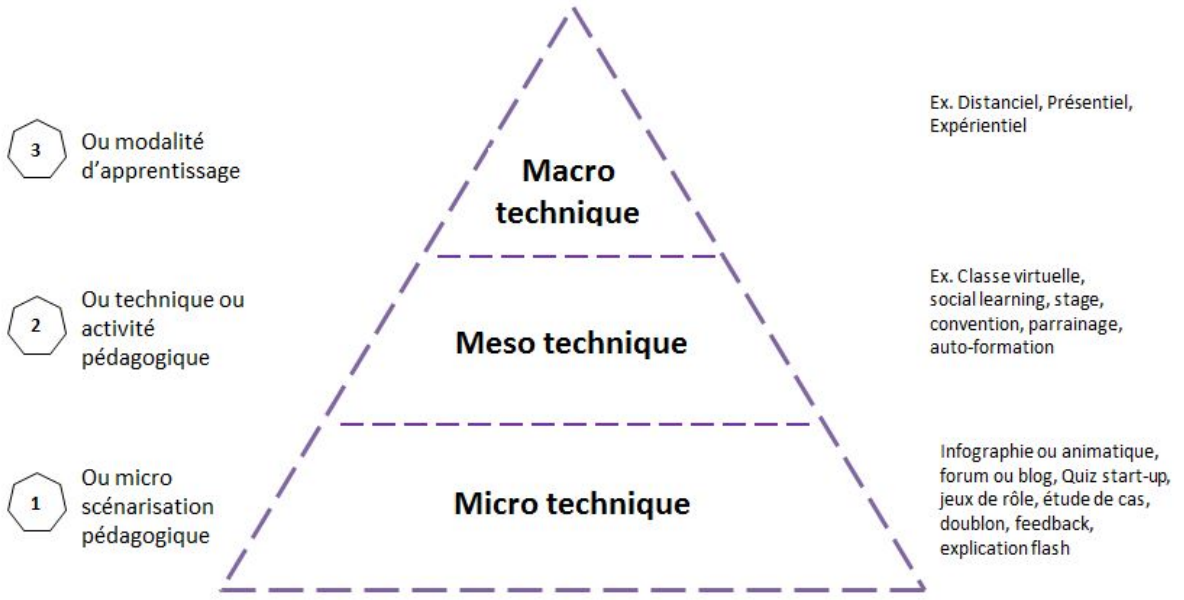


Figure 10. Macro, méso et micro techniques pédagogiques (Dennery, 2013, 30 juillet)

3.3.3 Un exemple d'analyse de dispositif de formation à distance

Nous avons mesuré l'importance d'une bonne articulation entre ces trois niveaux (macro, méso ou micro) au cours d'une recherche conduite en 2012 à l'Université de Strasbourg (Cf. Volume 2 : 20). Il s'agissait d'une étude comparative des différents dispositifs de formation à distance en usage dans toutes les composantes de cette Université au moment du projet de fusion de ses établissements fondateurs (réunion de trois universités fondatrices, de l'ESPE et de l'IUT, …). Un rapport de recherche disponible sur le site de l'ifé (Trestini *et al.* 2012) rend compte de ce travail. Il nous a en outre permis de constater l'importance du contour de l'objet à étudier ; la qualité de l'analyse semblait en dépendre. Dans cet exemple, rien ne nous interdisait en effet d'étudier indépendamment les uns des autres les dispositifs de formation à distance de chaque université fondatrice avant d'en faire la comparaison. Mais nous nous sommes très vite aperçus qu'en procédant de la sorte, nous ne pourrions pas établir de pronostic sur le comportement global du dispositif unifié, tant les influences réciproques entre les sous-systèmes (universités fondatrices) avaient d'impact sur le système général (englobant). Comme l'écrivait Lemire (2008, p. 34), « toute fragmentation fait perdre de ses propriétés au système, elles n'émergent toutes que si le système est saisi dans sa globalité. Ces propriétés, en bien des cas, n'ont d'existence qu'en raison des relations qui ont cours entre le tout et ses parties ».

Une étude sur l'*industrialisation* de l'enseignement à distance, conduite au même moment et dans ce même contexte (Trestini *et al.* 2012 ; Trestini et Coulibaly, 2014), nous a également montré à quel point les discours politiques de légitimation des stratégies mises en œuvre (idéologisation)[78] influencent l'évolution du dispositif global (Cf. Volume 2 : 7, 20, 21). Là encore, cette influence n'aurait pas pu être constatée si nous n'avions pas étudié *conjointement*, au cours d'une même période, *l'ensemble* des dispositifs mis en œuvre. Ce faisant, nous avons par exemple constaté que les discours fédérateurs des « politiques » eurent

[78] Outre la rationalisation et la technologisation, l'idéologisation est le troisième critère de la dimension industrielle d'une formation (Mœglin (1998, p.22).

plus d'impacts sur le choix des outils à retenir et sur les stratégies d'enseignement à favoriser pour la nouvelle université que l'expérience de dix années de pratiques « artisanales ».

3.3.4 Niveaux, objet et modèles associés

A chaque niveau d'investigation et pour chaque type d'objet étudié correspondent des modèles visant à représenter l'activité au cœur de l'environnement. Nous décrivons dans le paragraphe qui suit quelques modèles « objets » (et non « théoriques » comme nous les avons définis au § 3.2.1). Notre intention n'est pas d'être exhaustif, mais plutôt de retenir ceux qui nous ont accompagné dans notre parcours de chercheur et qui ont retenu notre attention. Avant cela, proposons ici encore deux classifications plus fines des modèles « objet ».

Généralement, lorsque les variables sont peu nombreuses, nous avons habituellement recours à des *modèles analogiques* simples. Un *modèle analogique* est un modèle objet qui consiste à reproduire le plus fidèlement possible le phénomène observé en utilisant des objets matériels pour représenter le système. La maquette d'un volcan en éruption en est un exemple. L'observation du comportement du modèle permet de tirer des enseignements sur le phénomène (le déplacement de la coulée de lave dans notre exemple). Mais dès que le nombre de variable augmente, le modèle analogique montre rapidement ses limites. C'est en particulier le cas des systèmes plus complexes comme les ENA de dernière génération. C'est ici qu'interviennent les modèles mathématiques ; on parle alors de *modélisation numérique*. Elle consiste à construire un ensemble de fonctions mathématiques décrivant le phénomène. En modifiant les variables de départ, on peut ainsi prédire les modifications du système physique.

D'autre part, Harvey et Loiselle, (1995, p. 97) définissent deux autres types de modèles à l'intérieur du champ des sciences de l'éducation : les *modèles locaux* et les *modèles généraux*. « On qualifie les modèles de locaux lorsqu'ils sont développés de manière spécifique à une discipline particulière ou à certains apprentissages propres à cette discipline (Depover et Marchand, 2002). Lorsqu'appliqués à des situations d'enseignement, ces modèles locaux permettent de lier directement le développement à un contenu particulier. Selon Depover et Marchand, ceci contribue à une conceptualisation mieux adaptée à des mécanismes d'apprentissage, mais également à l'établissement de prescriptions plus précises quant à la manière dont l'enseignement devrait se dérouler dans ce contexte particulier. Ces auteurs mentionnent aussi le fait que l'on parle de modèles globaux lorsque des modèles mettent en évidence des stratégies d'apprentissage communes qui seraient valables pour des disciplines variées. Parce qu'ils ont un caractère plus générique, ces modèles peuvent également être qualifiés de « généraux » (Schiffman, 1995) » (Ibid.).

3.4 TOUR D'HORIZON DES MODELES ET LANGAGES DE MODELISATION

Dans le champ des EIAH, les démarches de modélisation sont nombreuses et réfèrent globalement aux besoins énoncés au § 3.2 à savoir concevoir, analyser, évaluer, anticiper (le devenir) et personnaliser ces environnements, même si des points de convergence ou zones de recouvrement existent toujours. A chacune de ces démarches correspondent des modèles que nous avons également caractérisés et catégorisés dans ce même paragraphe et dans le § 3.3.4. C'est à ces modèles mais surtout à *leurs langages* que nous allons à présent nous intéresser.

Concrètement, nous commencerons par évoquer quelques langages de conception ou de développement de modèles *d'ingénierie pédagogique*, autrement dit des modèles de *design pédagogique*. Si le caractère polysémique de ce concept est très souvent discuté, un point de vue convergeant se trouve dans le fait qu'il « réfère à l'ensemble des théories et des modèles

permettant de comprendre, d'améliorer et d'appliquer des méthodes d'enseignement favorisant l'apprentissage » Paquette (2002, p.111). Nous renvoyons volontiers le lecteur intéressé par des précisions sémantiques concernant ces concepts à l'article Harvey et Loiselle (1995) qui en « décortique » tous les aspects polysémiques.

Nous prendrons ensuite du recul pour nous intéresser, d'un point de vue plus macro, aux modèles *d'ingénierie de formation* qui englobent les fonctions pédagogiques et non pédagogiques d'un ENA.

Puis, après avoir cité quelques modèles adaptatifs, nous finirons par nous intéresser à quelques *modèles d'analyse de l'activité* et en particulier à celui d'Engeström.

3.4.1 Les modèles d'ingénierie pédagogique, les LMP (ou EML)

Selon Paquette, l'*ingénierie pédagogique* dont relèvent les Langages de Modélisation Pédagogique (LMP ou EML en anglais pour *Educational Modeling Language*) « doit être vue comme une méthodologie soutenant l'analyse, la conception, la réalisation et la planification de l'utilisation des systèmes d'apprentissage, intégrant les concepts, les processus et les principes du design pédagogique, du génie logiciel et de l'ingénierie cognitive » [79].

Le concept d'objet d'apprentissage (*learning objet*) est à la base des méthodes et techniques d'ingénierie pédagogique. Il existe différents modèles manipulant ce concept : LOM[80], SCORM, EML, etc. Pour Pernin et Lejeune (2004, p. 409), ce concept d'*objet d'apprentissage* est constitué de trois classes d'objet : les unités d'apprentissage, les activités et les ressources. Le LOM adopte la définition retenue par IEEE : « Un objet d'apprentissage est une entité sur support informatique ou non, qui peut être utilisée, réutilisée ou référencée dans une activité de formation assistée par ordinateur ». Cette définition, jugée trop large d'un point de vue technique et scientifique par Wiley (2000) cité par Pernin et Lejeune (2004, p. 410) est reprécisée dans le cadre des technologies numériques par Koper (2003) cité par ces mêmes auteurs : « toute ressource numérique, reproductible et adressable, utilisée pour réaliser des activités d'apprentissage ou d'encadrement de l'apprentissage et rendue accessible à d'autres pour leur utilisation ». Mais pour Jenni (2009, p.20) il existe encore une confusion entre le concept d'*objets d'apprentissage* et le concept de ressources et en particulier celui de *ressources pédagogiques*. Pour elle « les *objets d'apprentissage* renvoient clairement à une succession de « techniques » s'assurant non seulement de l'assimilation de toutes les données (encapsulation), mais aussi le soutien des interactions et la gestion des accès. Par contre, les ressources pédagogiques se réfèrent au contenu et correspondent à une ressource dans sa signification la plus basique[81] » (Jenni, 2009, p.20). « Les ressources pédagogiques correspondent à tout ce qui concerne l'enseignement et les apprentissages dans leur globalité. Elles se réfèrent en particulier au contenu pédagogique. Les matériaux sont donc créés, sélectionnés et édités spécifiquement pour les apprenants et les enseignants. Ces ressources peuvent contenir tout à la fois du texte et des multimédias. Elles ne sont pas nécessairement limitées à du simple matériel de lecture » (*Ibid.*, p.20). Nous distinguerons par la suite les objets d'apprentissage de ces ressources pédagogiques (objets de contenu).

---

[79] Paquette G. (n.d.). L'ingénierie cognitive du téléapprentissage in Taurisson et Senteni (Eds) L'apprentissage collaboration, Presses de l'Université du Québec, cité par Pernin et Lejeune (2004, p. 407) :

[80] LOM specification, Learning Object Metadata. Objectif : indexer des Objets Pédagogiques pour les réutiliser dans des curricula. Accessible à https://ieee-sa.imeetcentral.com/ltsc/. Voir aussi version archivée : : http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http%3A%2F%2Fltsc.ieee.org%2Fwg12%2Ffiles%2FLOM_1484_12_1_v1_Final_Draft.pdf

[81] Elle se réfère à la définition du petit Larousse 2010, la ressource équivaut aux « moyens dont on dispose » (p. 884).

Par ailleurs, les nouvelles conceptions de l'apprentissage qui s'imposent à l'esprit des concepteurs et qui prédominent au début des années 2000 sont principalement centrées sur l'activité de l'apprenant. Elles ont profondément modifié la manière de concevoir les ENA, ainsi que les modèles d'ingénierie pédagogique eux-mêmes. Il était en effet question de rompre avec d'anciennes croyances qui consistaient à penser que l'apprentissage se réduirait à un simple transfert quasi « mécanique » de connaissances entre une ressource pédagogique déposée en ligne (objet de contenu) et le système cognitif de l'apprenant. Pour autant, le but n'était pas non plus de remettre en question l'intérêt de disposer en des lieux (virtuels) spécifiques des objets de contenu, mais plutôt de considérer que ces ressources pédagogiques ne représentaient pas la seule clé de réussite dans un processus d'apprentissage ; l'activité de l'apprenant étant au moins aussi importante que la ressource pédagogique dans ce processus (Koper, 2001, p. 3). Nous sommes donc passés d'une « Approche Centrée Contenu » à une « Approche Centrée Processus » telles qu'elles sont définies ci-dessous par Pernin et Lejeune (2004, p. 410). A chacune de ces approches correspond des spécifications[82] visant à standardiser les échanges dans le domaine de la formation en ligne ; par exemple des spécifications qui modélisent les ressources (ARIADNE, CanCore2, Dublincore, LOM,…) et d'autres qui modélisent les activités d'apprentissage (EML, IMS-LD,…).

L'approche Centrée Contenu « est directement liée à l'accroissement des possibilités offertes par Internet pour accéder à de grandes masses d'informations, notamment de nature pédagogique. Elle met en avant les avantages de l'approche par objets en informatique pour promouvoir de nouveaux usages fondés sur les principes de partage, de réutilisation et d'agrégation. Les travaux de standardisation menés dans le domaine ont abouti à la spécification LOM : celle-ci définit un jeu de métadonnées permettant l'indexation des objets d'apprentissage en vue de leur catalogage et de leur réutilisation et propose en outre un modèle d'agrégation successive d'objets allant des documents élémentaires (une image par exemple) aux entités de très haut niveau (un curriculum) » (*Ibid.*, p.410).

L'approche Centrée processus s'intéresse « à définir des méthodes d'ingénierie pédagogique capables d'assurer la mise en place *des ressources* et *des moyens pédagogiques* facilitant la conception et la mise en place de formations » (*Ibid.*, p. 410).

De cette volonté de combiner ressources et moyens pédagogiques sont nés de nouveaux Langages de Modélisation (LMP ou EML). Un EML est défini par le CEN/ISS comme « un modèle d'information et d'agrégation sémantique décrivant les contenus et les processus engagés dans une unité d'apprentissage selon une perspective pédagogique et dans le but d'assurer la réutilisabilité et l'interopérabilité ».

L'unité d'apprentissage peut être considérée comme *un gestalt* (Koper, 2001, p. 3). En pratique, elle peut être de différentes sortes et de différentes tailles ; ce peut être un cours, un programme d'études, un atelier de travail, une pratique, une leçon. Pour mettre en lien ce concept avec les niveaux de « la modalité multimodale » que nous avons définis au paragraphe 3.3.2, *l'unité d'apprentissage* se situerait plutôt au niveau macro. Koper (2001, p.4) le dit d'ailleurs lui-même : « une unité d'apprentissage pourrait être représentée par :

- de l'apprentissage en ligne (complètement à travers le web).

- de l'apprentissage mixte (mélange d'apprentissage en ligne et en face-à-face)

- de l'apprentissage hybride (mélange de différents supports: papier, web, e-livres, etc.) »[83].

---

[82] https://www.imsglobal.org/metadata/index.html

[83] Traduction de l'auteur.

A un niveau inférieur (méso) se trouve le *scénario pédagogique*. Pour Paquette, (2002a, p. 444), décrire un scénario pédagogique consiste « à décrire l'activité ou les activités propres à l'apprentissage et à l'assistance, les ressources requises pour réaliser les activités et les productions qui devraient en résulter […]. Composante d'une unité d'apprentissage, le scénario pédagogique se compose d'un *scénario d'apprentissage* et d'un *scénario d'assistance* ». Revenons rapidement sur ces deux derniers concepts.

Le *scénario d'apprentissage* représente la description, effectuée a *priori* ou a *posteriori*, du déroulement d'une situation d'apprentissage visant l'appropriation d'un ensemble précis de connaissances en précisant les rôles, les activités, ainsi que les ressources de manipulation de connaissances, outils et services nécessaires à la mise en œuvre des activités » (Pernin et Lejeune, 2004, p. 410).

Le *scénario d'assistance* regroupe quant à lui, « les activités de formateur ou d'autres types de facilitateurs, les ressources à utiliser, les productions à réaliser ainsi que les règles et consignes d'intervention auprès des apprenants » Paquette (2002a, p. 444). Pour illustrer cette définition, Paquette (*Ibid.*, p. 444) cite et explicite quelques scénarios possibles d'assistance : les scénarios d'assistance méthodologique, d'assistance par questionnement, d'assistance par présentation, d'assistance tutorielle et d'assistance par analogie.

Il est possible de décrire de manière littérale un *scénario pédagogique* par des mots standardisés reliés à un domaine de l'activité ou à l'aide de tableau à plusieurs colonnes. Mais ces derniers sont souvent difficiles à utiliser car les parcours sont complexes et souvent non linéaires ou offrant des modalités pédagogiques très diverses (cf. § 3.3.2). Il est donc souvent plus simple de les décrire graphiquement. Nous l'avons déjà dit, il s'agit dans ce cas de langages graphiques ou visuels. Un langage de modélisation peut donc être représenté par des symboles graphiques décrivant les composants du modèle représenté et les liens qui existent entre eux. Ce type de langages représente un bon moyen de communication pour l'équipe de conception et ses partenaires. Ils permettent également de donner une vision globale de la formation envisagée et de mettre en cohérence toutes les composantes du scénario: objectifs, activités d'apprentissage et d'assistance, méthodes, ressources pédagogiques, moyens et services, etc.

Commençons par présenter succinctement le langage EML puis un des langages de modélisation pédagogique les populaires qui en découle : le langage IMS-LD.

3.4.1.1 Le langage EML

Il faut rappeler qu'à l'origine, les premières approches issues de différents consortiums (ARIADNE, IEEE/LTSC9) ne portaient que sur la description de ressources (Oubahssi et Grandbastien, 2007). De là, Rob Koper (2000) propose de décrire des situations d'apprentissage à l'aide d'un langages de modélisation pédagogique dans le but de définir et matérialiser les relations entre les objectifs visés en termes de connaissances, de capacités ou d'habiletés, les acteurs intervenant dans les processus d'apprentissage, les activités réalisées et enfin les contenus nécessaires à leur mises en place. Il propose ainsi de décrire les situations effectives d'apprentissage à l'aide d'un langage qui place les situations d'apprentissage, et non les ressources, au centre du processus. « Ces travaux se sont concrétisés par la spécification d'un premier langage, EML (Educational Modelling Language) qui a largement inspiré dès 2002 la spécification IMS Learning Design » (Pernin et Lejeune, 2004, p.410).

Le système de notation utilisé pour décrire les *unités d'étude* utilise un méta-langage reconnu à l'international : l'Extensible Markup Language (XML)[84]. XML, à son tour, est basé sur le SGML ISO standard. Le XML 1.0 est devenu une recommandation du W3C, c'est-à-dire le « World Wide Web Consortium », le 10 février 1998. Avec l'aide de SGML et XML, il est possible de développer un vocabulaire spécifique au domaine choisi, ce qui était alors bien utile pour décrire les unités d'étude. La première structure de base d'EML est représentée par la figure 11 » (Koper, 2000, p. 25).

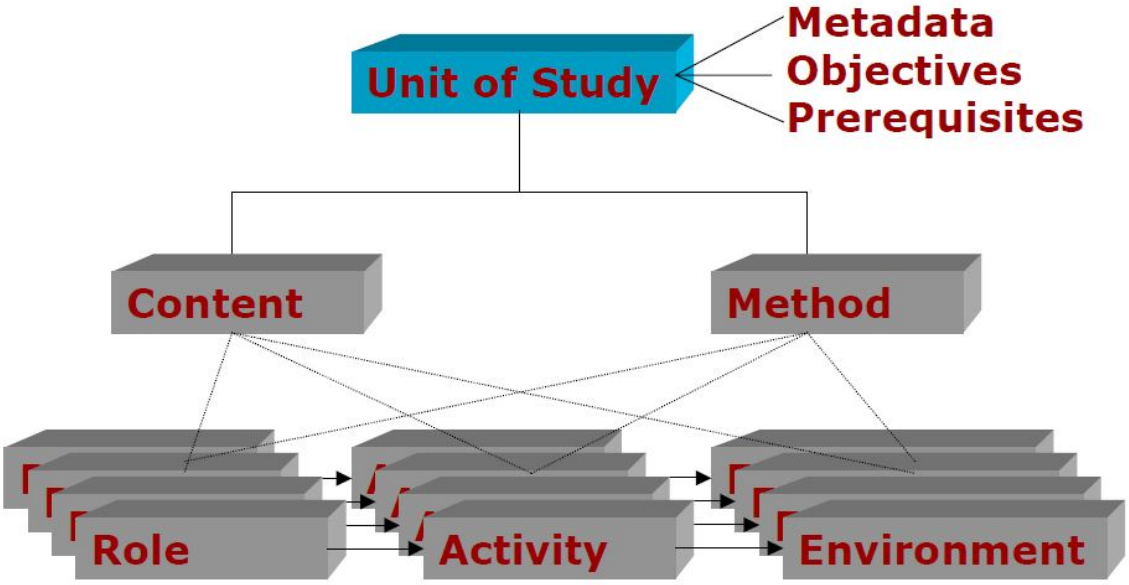


Figure 11. La structure d'EML (Koper, 2000, p. 25)

Cette représentation peut être représentée en une structure arborescente XML. La figure 12 en donne un aperçu et la figure 13 une traduction simplifiée (sans contenu) en XML.

[84] le langage XML est un langage qui permet de décrire des données à l'aide de balises et de règles que l'on peut personnaliser (Ludovic Roland auteur du cours XML sur Openclassroom : cours XML. https://openclassrooms.com/courses/structurez-vos-donnees-avec-xml/qu-est-ce-que-le-xml

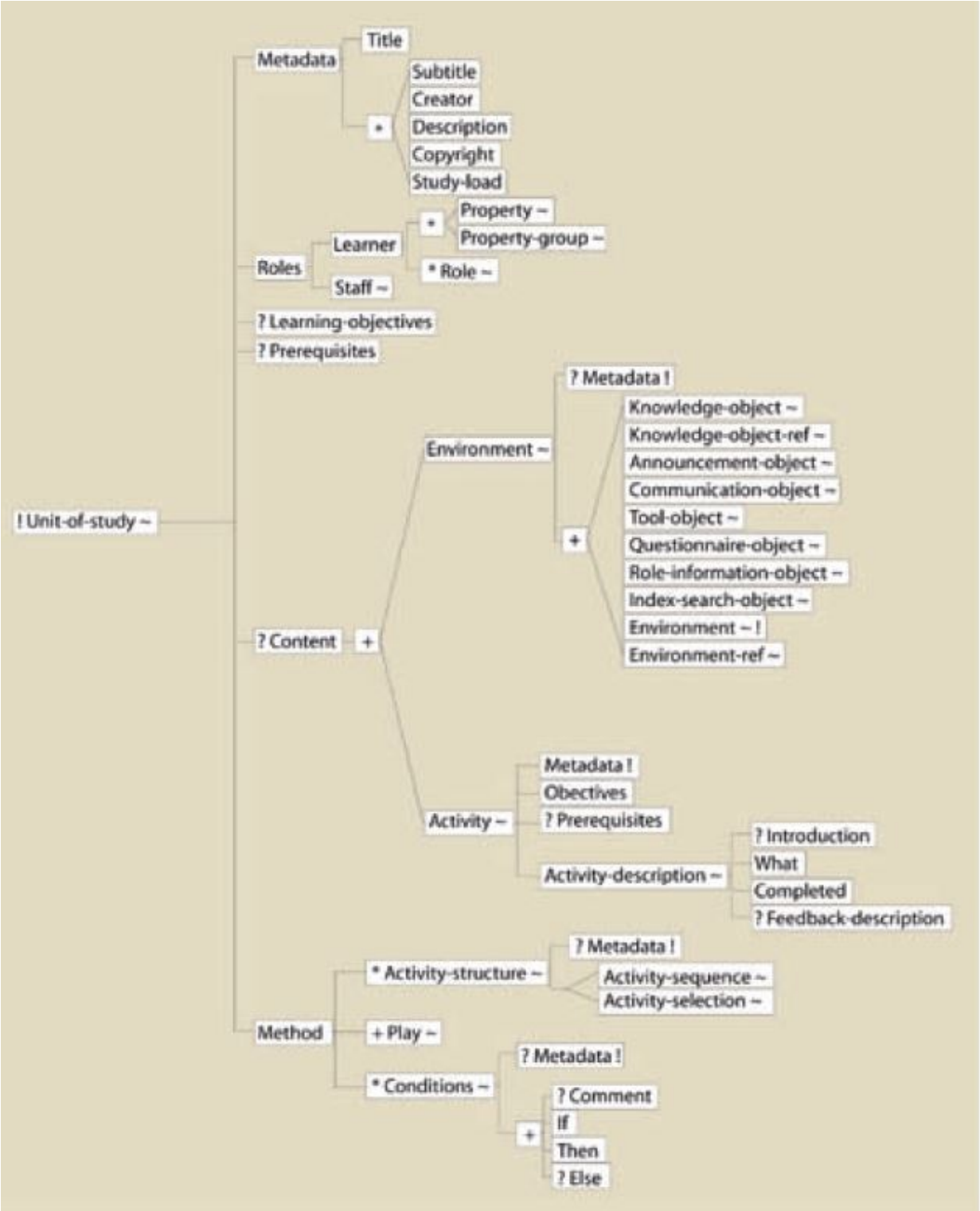


Figure 12. EML affichée dans une structure d'arborescence XML (Koper, 2000, p.25)

```
<unit-of-study>
 <metadata>
    <title>Competency: policy recommendations</title>
 </metadata>
 <roles>
    <learner id="Student">
       <property id="Learning Style"><integer/></property>
    </learner>
    <staff id="Tutor"/>
    <staff id="Developer"/>
    <staff id="Evaluator"/>
 </roles>
 <method>
   <play>
         <role-ref idref="Developer"/><activity-ref idref="Initiation"/>
            <continue><when-completed/></continue>
         <role-ref idref="Student"/><activity-ref idref="Introduction"/>
            <continue><when-completed/></continue>
         <role-ref idref="Student"/><activity-ref idref="competency test"/>
         <role-ref idref="Student"/><activity-ref idref="competency-1"/>
         <role-ref idref="Student"/><activity-ref idref="competency-n"/>
         <role-ref idref="Rater"/><activity-ref idref="review"/>
         <role-ref idref="Evaluator"/><activity-ref idref="evaluation/>
   </play>
 </method>
</unit of study>
```

Figure 13. Notation simplifiée d'une Unité d'étude sans contenu

3.4.1.2 Le langage IMS-LD

IMS Learning Design est un langage de modélisation qui permet de prendre en compte un large éventail de pédagogies pour l'apprentissage en ligne. Basé sur le même principe qu'EML développé par Rob Koper (2001) au sein de l'université ouverte des Pays-Bas, ce langage générique, flexible et indépendant des systèmes d'implémentation, a été conçu pour permettre aux enseignants de choisir, parmi les nombreuses approches pédagogiques qui existent, celle qui correspond le mieux à leurs objectifs et à la situation d'enseignement-apprentissage qu'ils cherchent à mettre en œuvre. Autrement dit, ce langage de modélisation « propose un cadre permettant de prendre en compte la diversité des approches pédagogiques tout en assurant l'échange et l'interopérabilité des matériaux d'apprentissage et des unités d'apprentissage les mettant en scène » (Pernin et Lejeune, 2004, p.410). Pour les raisons évoquées, le modèle IMS-LD est très proche du modèle EML, mais il présente néanmoins quelques différences : « à la place de l'*unité de l'étude*, il utilise le concept de l'*unité d'apprentissage* et utilise aussi le concept *ressource* à la place de l'*objet ;* enfin, une activité peut non seulement utiliser des ressources mais peut également en produire de nouvelles » (Oubahssi et Grandbastien, 2007).

Le langage IMS-LD a fait l'objet d'une spécification par le consortium nord-américain IMS–Learning Global Consortium[85] après un examen approfondi et une comparaison avec d'autres langages dans un large éventail d'approches pédagogiques et de leurs activités d'apprentissage associées. Cette reconnaissance a donné naissance en février 2003 à la spécification Learning Design V1.0 (IMS-LD). Ce langage « fournit un cadre conceptuel de modélisation d'une Unité d'Apprentissage et prétend proposer un bon compromis entre d'une part la généricité permettant de mettre en œuvre des approches pédagogiques variées et d'autre part la puissance

[85] https://www.imsglobal.org/learningdesign/index.html

d'expression permettant une description précise de chaque unité d'apprentissage » (Burgos, Arnaud, Neuhauser et Koper, 2005).

Concrètement, le langage IMS-LD permet de partager des scénarios et de les réutiliser quel que soit l'environnement dans lequel on souhaite les implanter. Il permet de spécifier formellement le déroulement d'une Unité d'Apprentissage (module, cours, séance etc.).

Pour illustrer ses potentialités, prenons au hasard un exemple de e-formation donné par Burgos et al. (2005). « Des enseignants veulent migrer leurs plans de cours sur un système en ligne. Ils créent des contenus spécifiques en : TXT, PDF, PPT, DOC, AVI, XLS, HTML, RTF, SXW ou autres formats de fichiers mais également des liens Internet. Ils peuvent incorporer autant de ressources que souhaité, créer des documents et les relier entre eux, également des évaluations, des informations supplémentaires concernant les objectifs, les pré-requis et autres. Ils investissent du temps pour tout modéliser et préparer leurs cours de façon à ce que ces formats soient utilisés convenablement. Ils peuvent décider de créer la structure avec des pages HTML de manière à être vue par un navigateur Internet. Cette solution est utile s'ils veulent simplement montrer des documents et s'ils s'adressent à des apprenants naviguant librement dans les pages de cours. S'ils décident d'incorporer un contrôle sur la méthodologie, l'évaluation, les réponses aux questions, les droits de propriété ou d'inscription par exemple, ils doivent nécessairement insérer les contenus structurés dans un système qui permet tout cela. Pour ce faire, une plate-forme de gestion d'apprentissage (LMS) et un environnement d'apprentissage virtuel (VLE) sont les meilleures options. De cette façon, ils conservent les informations, le cours qui a migré, transcrit du papier à l'écran avec quelques possibilités supplémentaires évoquées ci-dessus. Il est possible d'ajouter des forums, des « chats » en ligne, des services de communication, de cacher ou de montrer des informations, et ceci selon le niveau d'expertise ou le profil de l'utilisateur, etc.

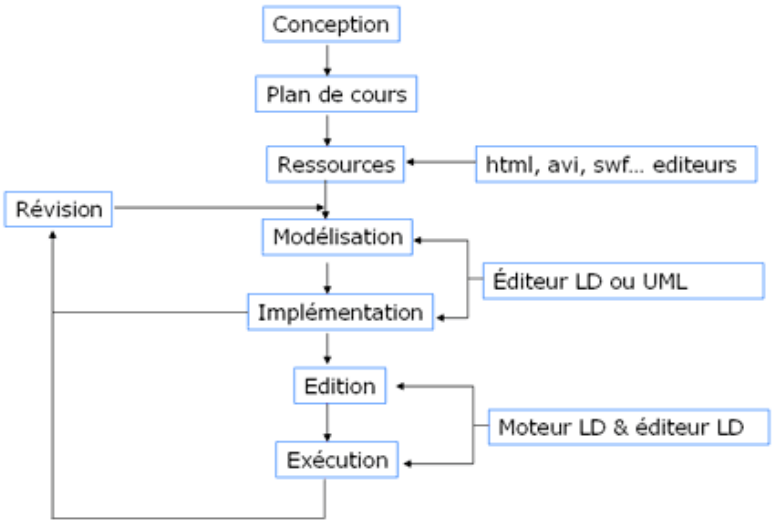


Figure 14. Cycle de vie de création d'une unité d'apprentissage (Burgos *et al.*, 2005)

Deux aspects ont été traités jusqu'à présent : les contenus/ressources et les activités/fonctions construites sur les contenus/ressources. Les premiers constituent un produit non finalisé que nous pouvons utiliser dans des applications différentes et utiliser à chaque fois que nous en avons besoin. Les secondes sont issues de l'approche pédagogico-didactique, complètement liées à l'outil utilisé pour les modéliser. Si nous réussissons à garder cette deuxième catégorie aussi indépendante que possible de la première, nous n'aurons pas besoin de la reconstruire au

cas où nous modifierions les contenus, que nous changions de plate-forme ou que nous mettions l'application à jour. Nous pouvons changer le contenu de la ressource elle-même mais son lien demeure et la structure fonctionne : c'est ainsi qu'une spécification entre en jeu »

Par ailleurs, IMS-LD utilise une métaphore théâtrale pour définir la structure d'une Unité d'Apprentissage ; « une pièce est divisée en un ou plusieurs actes et conduite par plusieurs acteurs qui peuvent endosser différents rôles à différents moments » (Burgos *et al.*, 2005). Pour chaque rôle, on doit réaliser un certain nombre d'activités pour achever le processus d'apprentissage. Une activité est située dans un environnement incluant des services (chat, forum, messagerie, etc.) ainsi que des ressources (objets de connaissance ou de contenu). « De plus, tous les rôles doivent être synchronisés à la fin de chaque acte avant de traiter l'acte suivant » (*Ibid.*, 2005). IMS LD propose également un choix de modélisation par niveau (Figure 15) permettant de définir des scénarios « prescriptif » (niveau A), des scénarios de « personnalisation » (niveau B) et des scénarios « dynamiques » (niveau C).

Le niveau A dit prescriptif décrit la « méthode » utilisée, tous les apprenants étant supposés faire le même parcours. « Le niveau A inclut la définition de la "méthode", des pièces, des actes, des partitions, des activités d'apprentissage et des environnements de tutorat. Clé de la spécification, il contient la description des éléments qui configurent IMS-LD et la coordination entre eux. Par exemple, les partitions définissent les activités qui doivent être endossées par un rôle pour achever un acte, et par la suite, une pièce » (Burgos *et al.*, 2005)

Le niveau B permet des parcours d'apprentissage qui peuvent changer pendant l'exécution de l'unité d'apprentissage, des décisions qui peuvent être prises en tenant compte d'aspects dynamiques. « Le niveau B ajoute au niveau A des propriétés, des conditions, des services de tutorat et des éléments agissant sur l'ensemble. Il fournit des moyens spécifiques pour créer des structures complexes et des expériences d'apprentissage. Les propriétés peuvent être utilisées comme variables, locales ou globales, stockant ou retirant de l'information pour un utilisateur seul, un groupe, ou même tous les personnages impliqués. A travers ces mécanismes, le parcours d'apprentissage peut changer pendant la durée d'exécution de l'unité et des décisions peuvent être prises en tenant compte d'aspects dynamiques.

Le niveau C ajoute des notifications au niveau B, c'est-à-dire par exemple un mail envoyé et une fonction « montré/caché » sont liées à une activité spécifique selon la manière dont l'activité précédente a été réalisée » (*Ibid.*).

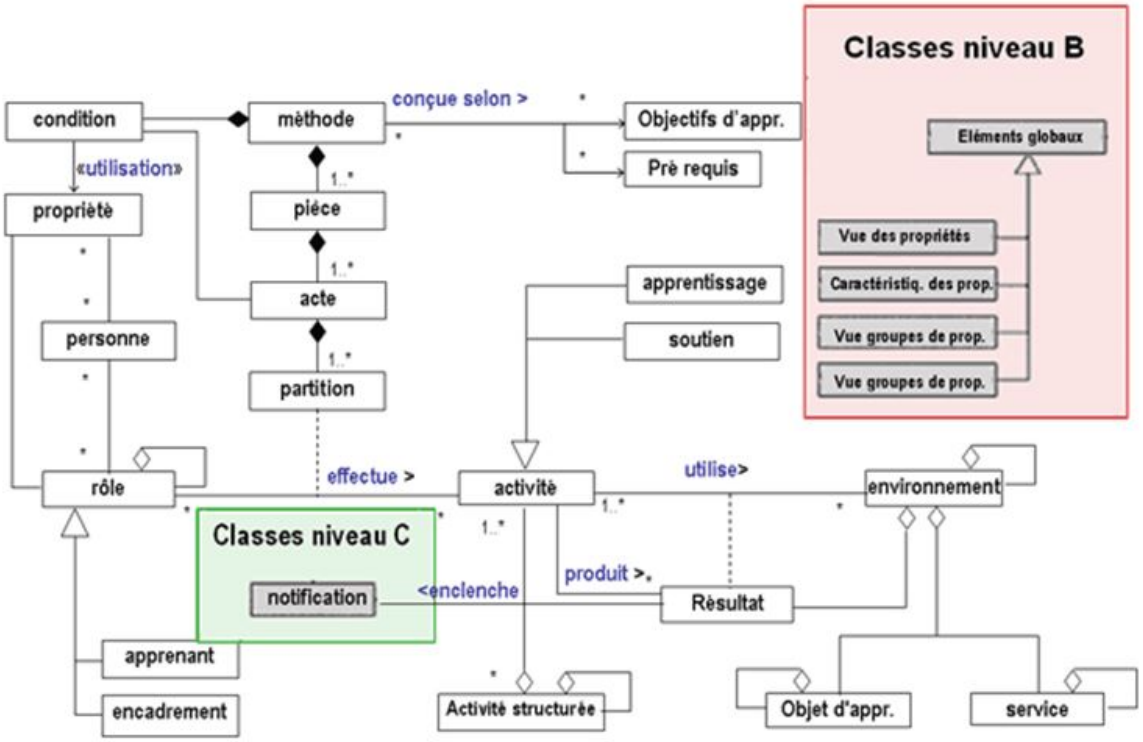


Figure 15. Architecture de la spécification IMS-LD, Niveaux A, B et C[86]

D'un point de vue opérationnel, nous venons de voir (figure 14) que la conception d'un scénario passe par l'utilisation d'un éditeur qui doit permettre la description à la fois les activités propres à l'apprentissage et à l'assistance, les ressources requises pour réaliser les activités et les productions qui devraient en résulter. Afin que cette description soit claire et facilement compréhensible, seule la représentation graphique semble réunir ces qualités. Ce type de représentation doit en outre pouvoir être facilement transposé dans un modèle respectant la norme IMS-LD, modèle qui permet de rendre réutilisables et échangeables les scénarios représentés. Le BF Conseil et Formation[87], en partenariat avec le LICEF, propose l'éditeur G-MOT qui répond à ces exigences. Il est téléchargeable sur le site du LICEF[88]. La figure 16 en donne un aperçu.

[86] IMS (2003). Learning Design Specification. Boston : USA.

[87] Source : BF Conseil et Formation est spécialiste des prestations sur mesure en ingénierie de formation et en ingénierie pédagogique. Récupéré du site « IngeGraph » qui représente la contraction de deux mots a priori antinomiques, « ingénierie » symbolisant la complexité et « graphique » évoquant une représentation visuelle facile à appréhender : http://www.ingegraph.com/

[88] http://poseidon.licef.ca/gmot/launch.jnlp

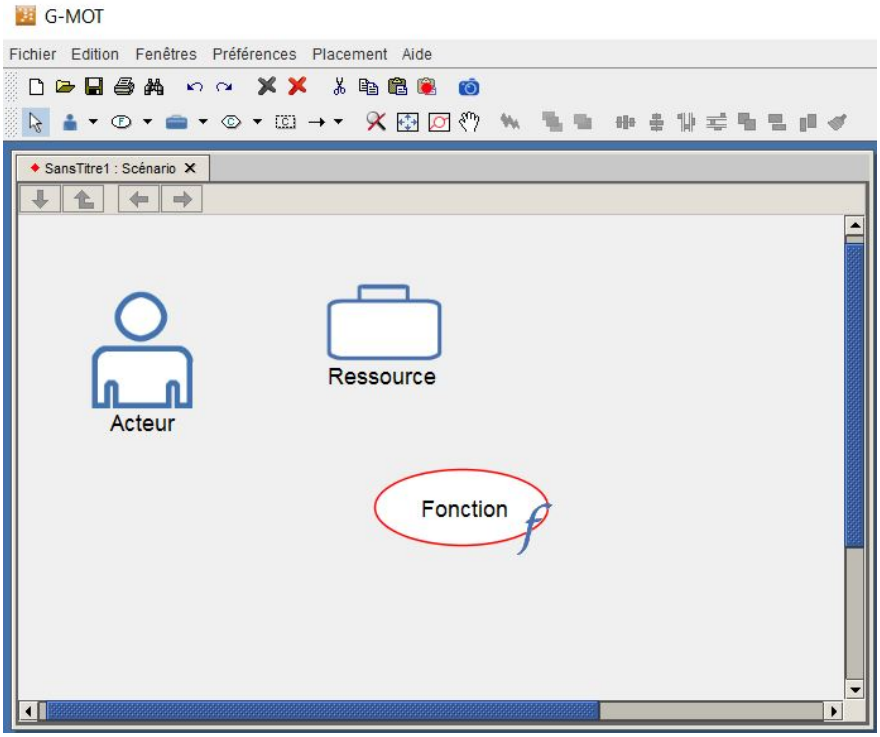


Figure 16. Editeur de modèle graphique LD (G-MOT)

Nous donnons ci-dessous (figure 17) un exemple de représentation graphique d'un scénario « classique » d'apprentissage par présentation puis contrôle des connaissances à l'aide d'un test de connaissances tout en respectant la norme IMS-LD de niveau B (choix de parcours en fonction des résultats du test). On notera que les ellipses rouges représentent des activités (les fonctions), les « rectangles rehaussés » les ressources et les « bonhommes » les acteurs. Les liens de type « P » indiquent l'ordre du déroulement du scénario et les liens de type I/P indiquent l'utilisation ou la production d'une ressource.

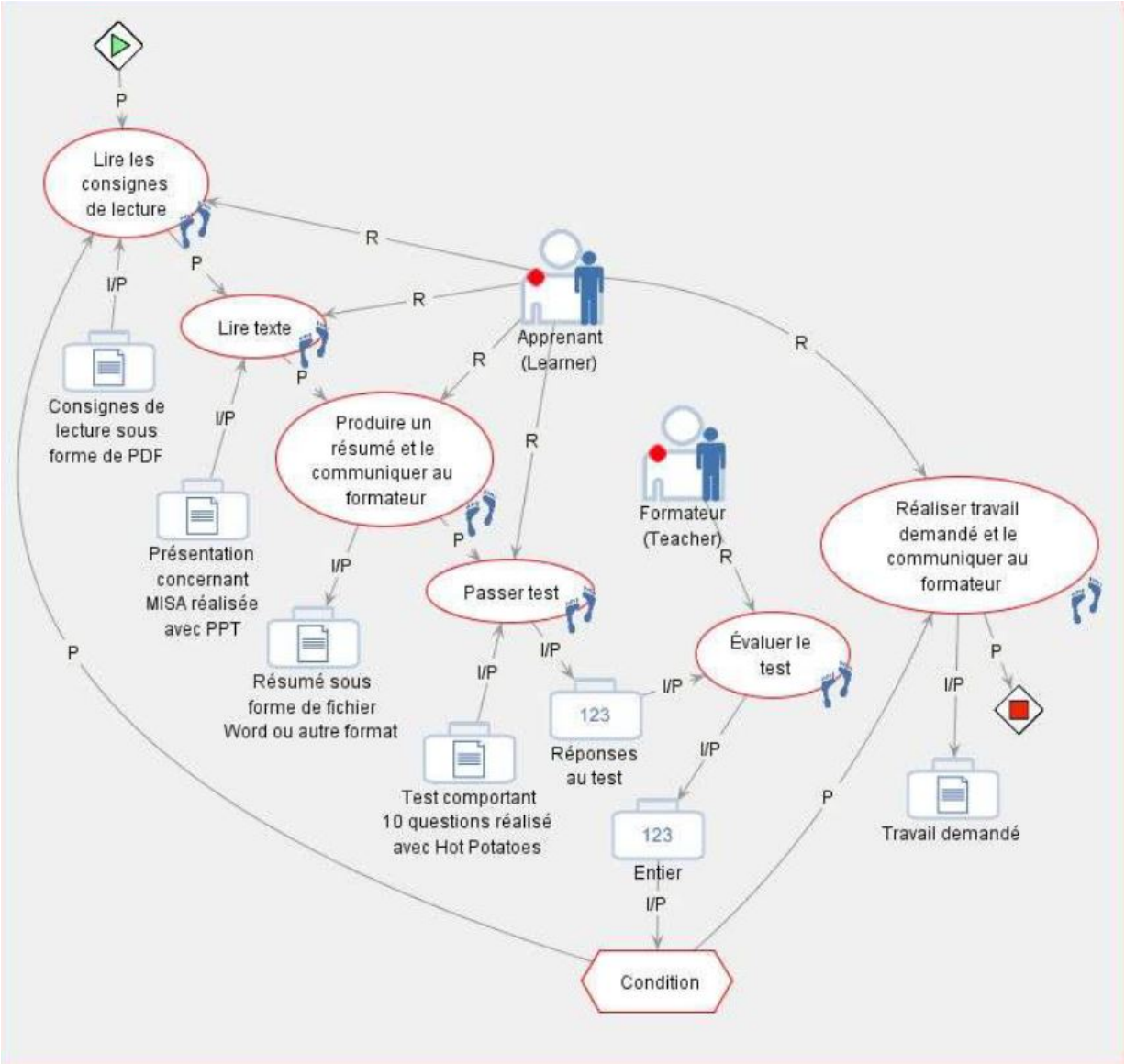


Figure 17. Exemple de scénario « classique » respectant la norme IMS-LD de niveau B

Une fois le scénario terminé, il suffit de le sauvegarder sous forme de « IMSmanifeste ». Sur le plan technique, la spécification définit un document XML qui n'est autre qu'un fichier imsmanifest.xml (voir figure 18) décrivant un scénario pédagogique très détaillé et qui relie les ressources réelles dans chaque format avec celui-ci (Tattersall *et al*., 2003, p.4). Une fois le fichier IMSmanifeste du scénario pédagogique créé, il devra être complété à l'aide de l'éditeur « Reload LD Editor » qui permettra de produire le package définitif (zippé) qui a pour fonction d'assembler les ressources liées, les liens web et plusieurs matériaux et services d'apprentissage. Le package est donc « un fichier compressé qui contient (i) le "manifeste" XML qui décrit la "méthode", la pièce, les actes, les rôles, les activités, l'environnement, les propriétés, les conditions et ou les notifications de la spécification, qui indique en outre les ressources qui lui sont liées ; et (ii) le groupe de documents ou les ressources mentionnées dans le « manifeste » XML » (Burgos *et al.*, 2005,).

```
<organizations>
  - <learning-design
  xmlns="http://www.imsglobal.org/xsd/imsld_v1p0"
      xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
      xsi:schemaLocation="http://www.imsglobal.org/xsd/imsld_v1p0
      http://www.imsglobal.org/learningdesign/ldv1p0/IMS_LD_Lev
      el_A.xsd" identifier="Course-candidas" level="A"
      uri="http://ou.nl/examplecandidas">
    - <!-- title and roles -->
    ° <imsld:title>Candidas. The great unknown (I)</imsld:title>
    - <imsld:components>
      - <imsld:roles>
        - <imsld:learner identifier="Learner">
          ° <imsld:title>Learner</imsld:title>
        ° </imsld:learner>
      ° </imsld:roles>
      - <!-- learning activities -->
      - <imsld:activities>
        - <imsld:learning-activity identifier="Preparation">
          ° <imsld:title>Introduction:What is
              Candidas?</imsld:title>
          ° <imsld:environment-ref ref="resources-Preparation"
              />
          - <imsld:activity-description>
            ° <imsld:item identifierref="R-Preparation"
                identifier="I-preparation" />
          ° </imsld:activity-description>
          - <imsld:complete-activity>
            ° <imsld:user-choice />
          ° </imsld:complete-activity>
        ° </imsld:learning-activity>
...
```

Figure 18. Exemple de codes XML de la spécification (Burgos *et al.*,2005).

Un fichier XML « est tout à fait différent d'un site web HTM qui pointe sur les mêmes ressources (LN4LD, 2005, voir exemples). Un « manifeste» XML n'est pas seulement un contenu lié comme dans une structure HTML mais c'est un dossier unique qui : (a) indique les contenus et les ressources, alors qu'une page HTML est bien une ressource en elle-même qui peut également contenir des références à d'autres ressources ; (b) qui rassemble la structure et le processus d'apprentissage d'une unité d'apprentissage alors qu'un site web HTML est une série de pages Web liées et/ou structurées sans « méthode » d'apprentissage sous-jacente ; et (c) qui peut fournir des conditions, des propriétés, des services de tutorat et des notifications. Un tel fichier permet d'adapter l'accès aux ressources en fonction des actions des utilisateurs et des échanges de données provenant des interactions alors qu'un site web HTML est une source d'information passive et statique » (Burgos *et al.*, 2005)

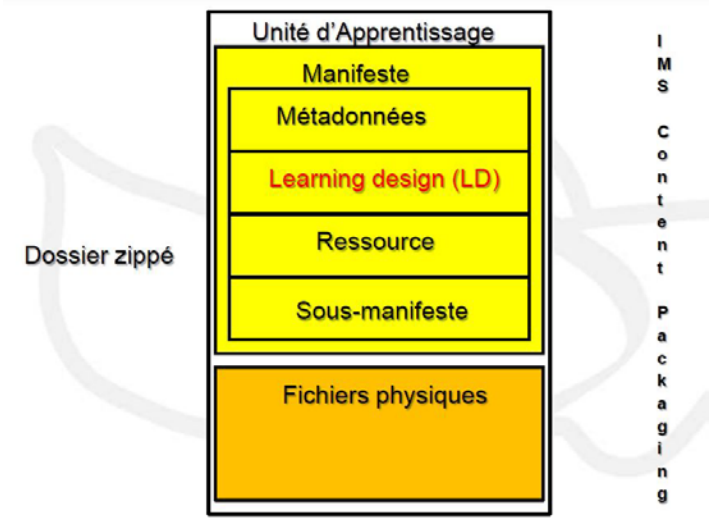


Figure 19. Unité d'apprentissage d'IMS-LD

En conclusion, l'éditeur de scénario permet aux enseignants de modéliser leur scénario pédagogique tel qu'ils se le représentent (ils pourront ensuite y revenir le cas échéant). En back office, cet éditeur génère un modèle de scénario conforme à un modèle formel (un méta-modèle). Ce scénario formalisé est ensuite injecté dans un *player* de scénarios, c'est-à-dire un moteur capable d'assurer la liaison avec l'environnement numérique, d'instancier[89] le scénario et de permettre son exécution en ligne en liaison avec l'environnement numérique.

A titre d'exemple, l'intégration imsmanifest.xml dans Moodle passe par la ressource « Ajouter un fichier IMS Content Package » mais dans sa version « specialized packages » c'est-à-dire avec un dossier comprenant un manifeste intégrant un Learning Design en lieu et place de la partie « organisation » traditionnelle.

En conclusion, les étapes à suivre sont les suivantes : (i) réaliser un scénario pédagogique graphiquement, (ii) le transposer selon la norme IMS LD, et (iii) l'implanter dans MOODLE 2.X grâce à la ressource IMS CP. Une procédure récente est proposée par Lepage, (2015)[90] pour dans Moodle 2.8.

3.4.2 Les modèles d'ingénierie de formation

De manière générale, l'*ingénierie de formation* réfère aux démarches et méthodes de conception de dispositifs[91] de formation, lesquels sont censés répondre de manière rationnelle et efficace aux objectifs visés par les concepteurs. Nous traitons évidemment dans cette section de dispositifs d'activités instrumentées, autrement dit d'e-formation ou de dispositifs d'enseignement à distance (EAD) ou de formation à distance (FAD) ou encore de formation dites ouvertes et à distance (FOAD). Nous ne reviendrons pas sur ces différents acronymes et préférons renvoyer le lecteur intéressé à un rapport de recherche qui explicite ces termes

[89] En programmation orientée objet, on appelle instance d'une classe, un objet avec un comportement et un état, tous deux définis par la classe. Il s'agit donc d'un objet constituant un exemplaire de la classe. [...] L'action d'instancier est de créer un objet à partir d'un modèle ». Instance (programmation)(2014, mis à jour 17 février). Dans Wikipédia. Récupéré de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Instance_(programmation)

[90] http://docplayer.fr/4480373-Moodle-2-8-3-ajout-d-un-scorm-en-mode-manifeste-scorm-externe.html

[91] Selon l'acception déjà maintes fois rappelée.

(Trestini *et al.* 2012, p.84). Lorsque cela sera nécessaire, nous utiliserons le terme de FOAD pour représenter cet ensemble.

Le processus d'ingénierie de formation se déroule généralement en trois étapes successives : l'analyse, la conception et la réalisation[92].

- *L'analyse*

La notion d'« analyse » *dans le champ de l'ingénierie de formation* a un sens particulier qui diffère de celui de l'« analyse » *des processus d'enseignement en environnement informatique*. Pour éviter toute confusion, posons que « *l'analyse des processus d'enseignement* est souvent présentée dans un cadre systémique, le système considéré étant constitué de trois pôles essentiels : le pôle "savoir", le pôle "élève" et le pôle "enseignant" – cf. par exemple Brousseau, 1986 » (Artigues, 1991, p.5). Des modifications de ce schéma général sont apparues par la suite pour mieux marquer la présence de l'outil informatique dans l'enseignement. Certains auteurs ajoutent même au système d'autres pôles pour souligner le fait que cet outil informatique affecte de façon spécifique d'autres composantes du système. Le modèle « systémique » d'Engeström (1987) offre par exemple, et selon cette même acception, un cadre d'« analyse » qui lui est propre ; ses pôles en sont effectivement différents (sujet, outil, objets, règles, communauté, division du travail) et réfère à un cadre théorique différent (TA).

L'« analyse » *dans le champ de l'ingénierie de formation* correspond à l'étude (traditionnelle) de la faisabilité du projet qui passe par l'analyse du besoin et l'établissement des fonctions de services (d'usage et d'estime). Elle a pour objectif d'identifier l'organisation ou l'entreprise de formation, le contexte de la demande, sa situation, ce qu'elle attend, le public qu'elle vise, ses objectifs, les éléments de contenu, les formes d'évaluation (diagnostique, normative, formative, sommative), ainsi que les différentes contraintes (temporelles, budgétaires, etc.). Cette analyse débouche généralement sur la rédaction d'un cahier des charges et/ou d'un modèle d'expression du besoin et des fonctions que doit assurer le système. Les « diagrammes de cas d'utilisation » propres aux modèles de conception orientée objet par exemple (COO) illustrent bien ce qu'il est possible d'établir dans ce cas.

- *La conception*

La conception proprement dite sera constituée d'une description du contexte, des objectifs de formation, des objectifs pédagogiques (généraux et spécifiques), d'un descriptif général du dispositif, du programme détaillé de la (ou des) formation(s), des méthodes pédagogiques employées, du séquencement de chacune des séquences et séances de la formation, du descriptif de la population visée par la formation, du profil du ou des formateurs, du dispositif de pilotage des dispositifs d'évaluation, du calendrier du dispositif. On constate qu'à cette étape de la *conception de dispositif*, on intègre à la fois les aspects pédagogiques (comme le fait évidemment l'ingénierie pédagogique vue précédemment au § 3.4.1) mais aussi les aspects non pédagogiques (technologique, économique, organisationnel, décisionnel, voire parfois juridique).

- *La réalisation*

Une formation est un projet qui nécessite un dispositif de pilotage composé d'un comité de pilotage (en charge de la gestion du projet de formation), d'un chef de projet qui manage les personnes engagés dans le projet de formation, d'une équipe projet qui met en œuvre le projet

[92] Aït Hennani (2008) de l'Université de Lille 2 détaille chacune d'entre elles dans l'une de ses présentations dont nous avons d'ailleurs repris quelques éléments. Source :
http://iut.univ-lille2.fr/fileadmin/user_upload/documents/Emplois/IngenierieDeLaFormation_Mohamadia_06juin2008.pdf

de formation, et d'un réseau de personnes ressources qui participent d'une façon ou d'une autre au projet de formation. Sa réalisation passe aussi par l'animation du dispositif mis en œuvre, animation qui est essentiellement pédagogique ; la communication entre les différents acteurs doit en être facilitée. La bonne circulation de l'information est donc essentielle à ce stade. L'évaluation du dispositif est l'étape finale de réalisation ; elle donne une idée du fonctionnement de la formation. Elle doit être conduite à différents niveaux et de manière régulière et répétée pour permettre d'en valider les effets.

En conclusion, l'ingénierie de formation comprend les méthodes et pratiques de l'analyse de la demande et des besoins de formation ; la conception d'un projet de formation ; la définition des méthodes et moyens à mettre en œuvre ; la coordination et le suivi de la formation ; l'évaluation de la formation ainsi que les modes de validation envisagés. L'ingénierie de formation est donc à distinguer de l'ingénierie pédagogique (qui renvoie aux pratiques) ou de l'ingénierie de la professionnalisation qui repose sur l'alternance de situations d'apprentissages formelles ou informelles.

3.4.2.1 Généralisation du modèle IMS-LD

Comme le font remarquer Oubahssi et Granbastien (2006), la plupart des propositions d'ingénierie sont prioritairement centrées sur l'activité de l'apprenant qui ne représente qu'une vue partielle de l'activité globale et/ou ne se concentre que sur une catégorie donnée d'acteurs et non sur la globalité d'un dispositif d'activités instrumentées. De ce constat, plusieurs tentatives de modélisation ont été entreprises à partir de modèles de l'activité en général et au sein de processus globaux de formation ouvertes et à distance (FOAD). Ces modèles couvrent plus largement l'activité de l'ensemble des acteurs du processus de formation et permettent de le particulariser pour chacune des phases du processus (Grandbastien *et al.*, 2003). L'intérêt réside non seulement dans cette volonté de vouloir modéliser un dispositif tout entier, mais aussi de prendre en considération tous les acteurs agissant sur le système. Ils se voulaient en outre capables « d'assurer une meilleure interopérabilité des données relatives à ces activités entre les différents composants logiciels utilisés dans une FOAD » (Oubahssi et Granbastien, 2006). Ce modèle d'activité qui couvre plus largement l'activité de tous les acteurs du processus de formation a fait l'objet d'une publication dans (Oubahssi *et al.*, 2005).

La démarche suggérée par ces auteurs est de proposer pour les systèmes de FOAD des modèles et des architectures fonctionnelles issues des pratiques observées au sein d'une société qui commercialise des solutions autour d'une plate-forme. Il s'agit donc d'un processus de ré-ingénierie dont une caractéristique forte est de couvrir l'ensemble du cycle de vie de la FOAD.

Les activités pédagogiques retrouvent naturellement une place prépondérante dans ce modèle : élaboration des modules pédagogiques, préparation et intégration des contenus, tests et simulation, …, collaboration et coopération avec les autres acteurs, etc. Mais ce qui le distingue en particulier des précédents réside dans la prise en compte de nouvelles activités qui font par ailleurs apparaître de nouveaux acteurs. Par exemple, « chacun des gestionnaires et administrateurs utilise son environnement pour réaliser les activités suivantes :

- activités de gestion administrative : gestion des comptes utilisateurs (apprenants et enseignants), gestion des comptes des groupes de formation, gestion des plannings, gestion des conventions de formation,…
- activités de gestion technique : sécurisation des données, maintenance du bon déroulement de la formation, gestion des documents,…

- activités de gestion de la formation : définition des domaines, définition des disciplines, définition des niveaux de formation, gestion des documents… » (Oubahssi et Granbastien, 2006).

La figure 20 montre *un diagramme de classe*, issu des *modèles de conception orientée objet*, qui détaille le modèle d'activités proposé dans un environnement de formation ouverte et à distance. « A chacune des phases du processus est associé un environnement dans lequel les acteurs réalisent une ou plusieurs activités. Dans ce modèle, un environnement de FOAD est donc composé d'un ensemble d'unités de travail, de liens, de règles et de ressources. Dans les unités de travail se déroulent des activités. L'unité de travail[93] est définie comme une composition d'activités réalisées par un ensemble d'acteurs dans un environnement donné de la FOAD […]. Chaque activité est caractérisée par un ensemble de prérequis, d'objectifs, et est définie par un état (par exemple en cours). L'environnement dans lequel se déroule l'activité permet de regrouper un ensemble de ressources de tous types et les outils nécessaires à l'accomplissement de celle-ci.

Chaque activité utilise et produit un ensemble de ressources (outils, services, résultats,...). Les principaux acteurs qui manipulent les activités sont : auteur, orienteur, tuteur, apprenant, évaluateur, administratif, administrateur général, et administrateur pédagogique.

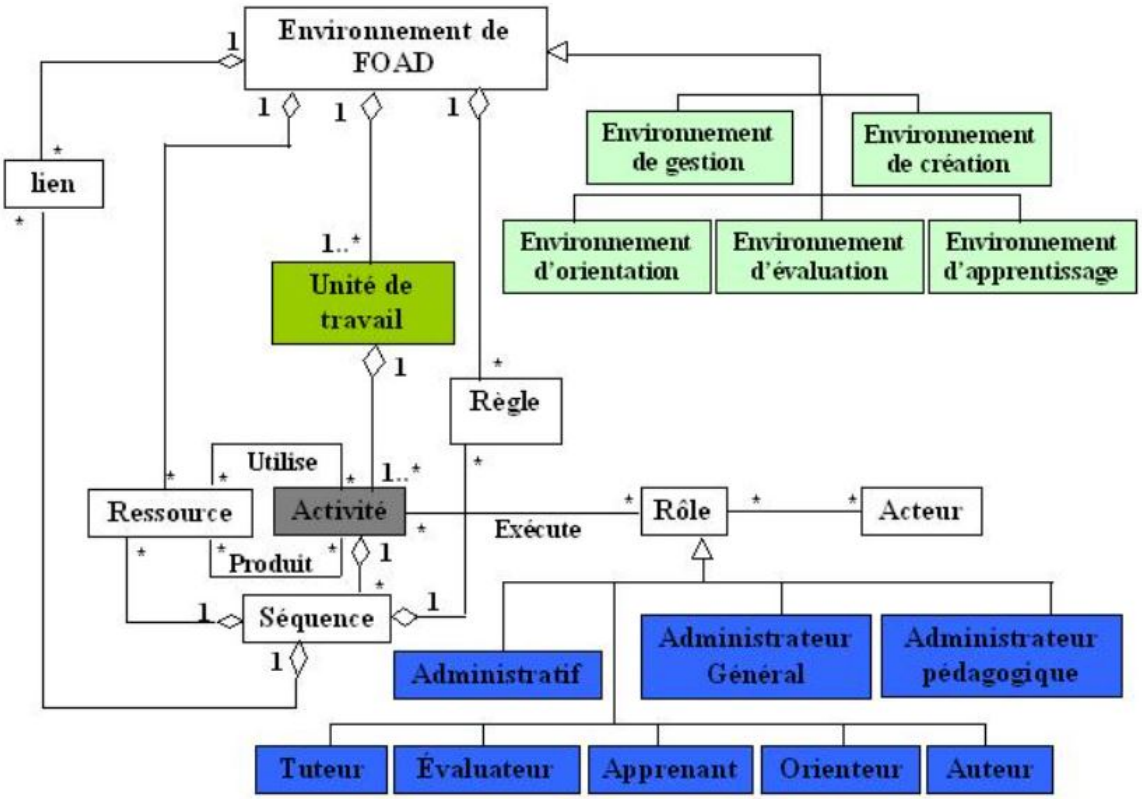


Figure 20. Modèle d'activités pour le processus global de la FOAD (Oubahssi et Grandbastien, 2007)

Les règles représentent un ensemble de conditions ou de contraintes qui permettent le bon déroulement des activités » (Ibid.)

Voir modèle IMS-LIP et son questionnement sue l'interopérabilité avec les standards (Oubahssi et Grandbastien, 2007 dossier ingénierie de formation).

[93] Les auteurs distinguent cinq types d'unités de travail : unité de création, unité d'orientation, unité d'apprentissage, unité d'évaluation et l'unité de gestion.

3.4.3 Les modèles adaptatifs

Nous avons expliqué au paragraphe 3.2.3.5 en quoi les modèles adaptatifs permettaient de répondre au besoin de personnalisation de l'environnement numérique d'apprentissage. Nous avons rappelé à ce sujet que cette personnalisation ne peut se faire sans une bonne connaissance du dispositif. Il faut en effet pouvoir décrire des parcours pédagogiques qui répondent précisément et dynamiquement aux attentes repérées de chaque apprenant. Mais ne nous y trompons pas, ce ne sont pas des parcours prescrit mais adaptés au besoin de chacun.

> « Si l'environnement est bien conçu, l'apprenaute pourra naviguer à sa guise. Il ne s'agit pas de faire des parcours-programmes mais des parcours-guides qui offrent la possibilité d'avancer de manière non linéaire, où des repères sont fournis plutôt que des étapes. Considérer l'apprenant comme un apprenaute, c'est le prendre comme une personne à part entière ayant la possibilité d'emprunter un parcours qui lui convient, sachant que ceux qui lui sont proposés sont pensés dans une perspective d'apprentissage. Il n'y a donc plus de bon ou de mauvais parcours mais un cheminement qui fait sens … » (Simonian, 2010, 12 de paragraphe).

L'enjeu consiste donc à rendre le système aussi réactif que possible à la situation de chaque apprenant tout en préservant les pratiques pédagogiques choisies par chaque enseignant. C'est pour cette raison que le modèle est dit adaptatif, car le système doit adapter dynamiquement les parcours pédagogiques en fonction des attentes des uns et des autres. En 2011, la personnalisation a fait l'objet d'un atelier francophone lors de la conférence EIAH 2011. Les résultats de cet atelier ont été publiés sous la forme d'un article de synthèse dans la revue STICEF (Lefevre *et al.*, 2012). Depuis 2011, la question de la personnalisation en contexte de formation informatisée est traitée par la communauté internationale dans le cadre des workshops PALE. Traditionnellement, les modèles adaptatifs sont construits à partir d'ontologies dans le cadre de l'ingénierie pédagogique (Behaz et Djoudi, 2009). En effet, pour « faciliter la recherche, l'adaptation et la composition de services, il est essentiel de disposer d'une description sémantiquement riche des services. Les ontologies sont aujourd'hui largement utilisées pour répondre à ce besoin » (Zniber, 2012, p.20). Des avancées notables ont été relevées en matière de personnalisation de l'apprentissage. Bejaoui, Paquette, Basque, Henri (2015, p. 4) construisent actuellement des modèles adaptatifs de scénario de MOOC soutenant un apprentissage personnalisé fondé sur ces ontologies (Cf. figure 21). Ils s'appuient « sur les avancées en matière de personnalisation de l'apprentissage et d'assistance à l'apprenant dans les environnements numériques d'apprentissage de même que sur l'apport de la modélisation ontologique à ces développements techno-pédagogiques » (*Ibid.* p. 2).

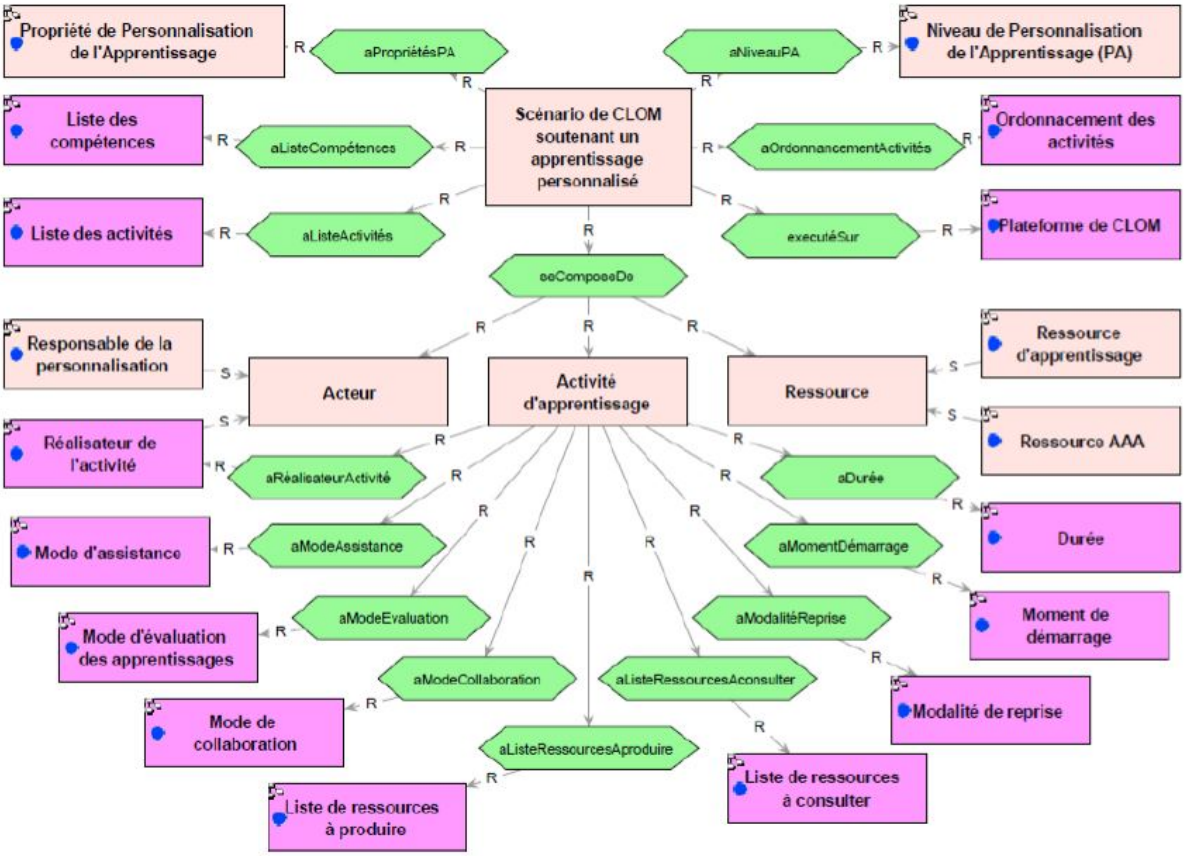


Figure 21. Niveau supérieur de l'ontologie d'un scénario de MOOC soutenant un apprentissage personnalisé (Bejaoui, Paquette, Basque, Henri, 2015, p. 4)

3.4.4 Les modèles systémiques de l'activité

Comme nous l'introduisions au chapitre 3, à chaque génération d'ENA (Cf. Baron, 1994) correspond des formes de médiations et *des modèles pour les représenter*. Les formes de médiation ont été principalement décrites et étudiées dans le cadre des théories de l'activité. Le tableau ci-dessous recense ces formes de médiations et les niveaux d'activité pour les trois premières générations.

Tableau 2. Les différentes générations de la théorie de l'activité (d'après Engeström, 2000, 2005) cité par Laguecir, *et al.* (2010, p. 49)

Génération	Médiation	Niveau d'activité
Première	**Médiation individuelle** (Vygotsky, 1934/1997)	Médiation de l'activité par des artefacts
Deuxième	**Médiation collective** (Leontiev, 1978 ; Blackler, 1995 ; Blacker, Crump, Mcdonald, 1999 ; Jarzabkowski, 2003)	Système de médiation étendue au niveau collectif : le système d'activité
Troisième	**Médiation inter-collective** (Engeström, 2000, 2005)	Système de médiation au niveau inter-collectif : systèmes d'activité interdépendants

A chacune d'entre elles correspond un modèle que nous allons présenter brièvement. Nous aurons néanmoins l'occasion d'y revenir en détail au paragraphe 4.1, 4.3 et 4.4.

- Le premier modèle se focalise sur le niveau individuel de la médiation de l'activité par des artefacts (outils). Vygotsky a fait valoir que la relation « Stimulus – Réponse » (SR) entre un sujet humain et un objet n'est jamais directe. X représente le rôle de la médiation de l'objet dans l'activité. Par exemple, Vygotsky considère que la conscience émerge[94] de l'activité humaine médiée par des artefacts (outils) et des signes.

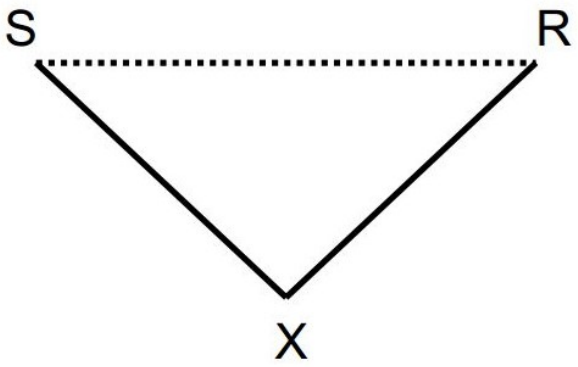


Figure 22. La structure de l'activité médiatisée[95] (Vygotsky, 1978, p.40)

- Le second modèle[96] n'est pas à proprement parler un *modèle visuel*. Fondé sur les travaux de Leontiev (1976), il met en lumière le caractère collectif de l'activité. « L'individu est replacé dans une communauté, ce qui correspond à un système de médiation étendue au niveau collectif : le système d'activité » (Laguecir, Hervé et Massue, 2010, p. 50). Leontiev (1976) a proposé de distinguer trois niveaux au sein des activités. Nous les avons explicités au paragraphe § 2.2.5.2 : les *opérations*, les *actions* et les *activités*. Rappelons seulement que les opérations constituent la base de l'activité et correspondent à des actions dont la production a été automatisée à force de réalisations successives. Notons qu'une action peut s'élever au niveau d'une activité ou qu'une activité peut correspondre à une action dans un processus d'une portée plus générale (Beauné, 2010).

- Le troisième modèle est celui d'Engeström, (1987) qui étend le modèle triangulaire précédent en ajoutant le sujet au sein même de la communauté à laquelle il appartient. En effet, ce modèle « ne permet pas de considérer toutes les relations qui existent entre un individu et le reste de son environnement, en particulier […] le fait que l'activité soit un phénomène collectif » (Bourguin 2000, p. 48). Engeström apporte au modèle précédent la médiatisation de deux autres relations : la première par des règles plus ou moins explicites entre le sujet et la communauté et la seconde par une division du travail entre la communauté et l'objet.

Le modèle de la figure 24 en est la plus récente représentation et « constitue finalement l'une des dernières évolutions majeures de ce cadre théorique : la structure de base d'une activité se présente sous une forme bitriangulaire dont les angles recensent les différents paramètres des activités humaines, prenant ainsi en compte la dimension sociale ou collective des activités ainsi que la médiatisation des actions par les outils mobilisés dans les contextes observés » (Beauné, 2010).

[94] Notons là une expression embryonnaire d'un « phénomène émergent ».

[95] "The structure of the mediated act" (original diagram). X représente le rôle de la médiation de l'objet dans l'activité (in which "X" stands for "médiation".

[96] Si nous faisons abstraction du modèle proposé par Kuutti, 1996 cité par Lewis 1998, en figure 23.

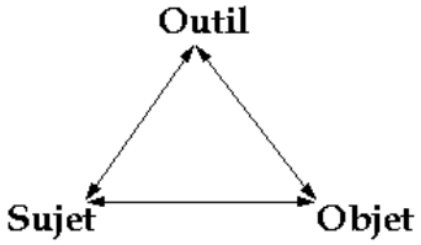


Figure 23. Relation individuelle médiatisée (d'après Kuutti, 1996 cité par Lewis 1998)

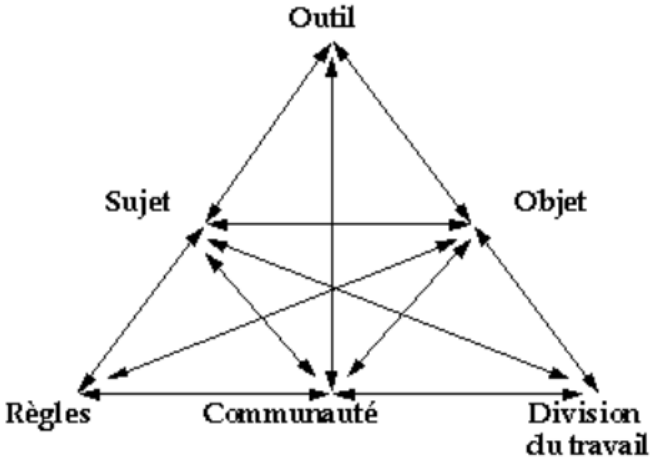


Figure 24. Modèle d'Engeström (1987)

Ce que dit aussi Engeström, c'est que le système d'activité évolue et tire sa force de la succession de résolutions de contradictions internes apparaissant au sein du système de l'activité. Il convient alors de distinguer quatre degrés de contradictions possibles : (i) celles primaires à l'intérieur de chaque composant de l'activité centrale ; (ii) celles secondaires, entre les constituants du système d'activité et celles tertiaires entre le motif central de l'activité et les motifs d'autres formes d'activités « culturellement plus avancées » qui peuvent tendre à se substituer au motif central de l'activité et enfin (iii) celles quaternaires relevant de réseaux d'activités similaires : entre l'activité centrale et des activités voisines ou périphériques.

Comme le souligne Bruillard (2004, p. 3), ce modèle peut servir de cadre pour analyser l'activité humaine, mais il donne aussi des éléments « montrant comment un déséquilibre, souvent un ensemble de contradictions dans les différents éléments intervenant et une contrainte à un moment donné (avec souvent un butoir temporel), conduit à transcender le cadre initial pour définir un nouveau système d'activité, constituant une forme élevée d'apprentissage ». C'est ce qu'Engeström (1987) nomme l'*apprentissage expansif*. L'acte d'apprendre s'inscrit dans la transformation du système d'activité. Selon cette théorie, l'apprentissage n'est pas ici considéré comme une simple accumulation d'informations, mais comme la réorganisation d'un système d'activité. « Cette théorie rencontre du succès autant dans le CSCW[97] que dans les questions de conception » (*Ibid.*, p. 4) comme nous l'avons d'ailleurs vu dans l'exemple de la conception d'un gouvernail au paragraphe 3.2.2.2 ou dans l'article de Béguin et Cerf (2004).

Ainsi, parmi les modèles de conception d'ENA, les modèles systémiques issues des théories de l'activité permettent non seulement de faciliter l'analyse de ces environnements mais également d'outiller conceptuellement les processus de conception même si, simultanément, des développements semblent aussi nécessaires (Béguin & Rabardel, 2001, p. 2). Néanmoins, ces derniers auteurs nuancent leur propos en ajoutant que « les théories de l'activité constituent un champ de recherche plus immédiatement utilisable pour la psychologie (et en particulier la psychologie de l'éducation) que pour " les sciences de la conception" …» (*Ibid.*, p. 2).

[97] Journal of Comuter-support Cooperative Work (CSCW, Vol. 11, Nos. 1-2, 2002) sur la théorie de l'activité et la conception, édité par Nonnie Nard et David Redmiles.

Pour clore ce paragraphe, notons que si le modèle d'Engeström (1987) a l'incontestable avantage d'intégrer l'individu au sein de sa communauté, ce qui correspond à une vision du système de médiation étendue au niveau collectif, il nous est plus difficile de comprendre en quoi il permet de représenter une médiation inter-collective comme semble le penser l'auteur cité par Laguecir, *et al.* (2010, p. 49) dans le tableau 2. De notre point de vue, un système de médiation intervenant *au niveau inter-collectif*, autrement dit *un réseau de systèmes d'activité en interaction* serait mieux représenté par le modèle que nous suggérons au paragraphe 4.3.2 (figure 35). Ce point de vue n'enlève évidemment rien aux incroyables avancées que ce modèle a permis de faire dans le domaine de l'analyse des systèmes d'activité, il nous donne simplement l'occasion de dire que nous inscririons volontiers[98] notre modèle (figure 35) dans cette troisième génération « de médiations ». Nous renvoyons le lecteur paragraphe 4.3.2 pour plus de détails.

3.4.5 Les modèles systémiques de la complexité

Ce qu'apportent les modèles systémiques de la complexité aux modèles analytiques c'est tout d'abord un déterminisme relatif. En faisant référence au modèle expansif de l'apprentissage d'Engeström, Virkkunen (2007, 16 de paragraphe) reconnaît que l'analyse des contradictions internes au sein d'un système d'activité est un processus long et compliqué. Il prend pour exemple le cas où, dans une organisation, le changement d'un des médiateurs de l'activité a provoqué de nouvelles contradictions internes au sein de chaque élément et entre les éléments du système d'activité. Il semble pourtant déterminé à suivre le modèle type du processus d'expansion du système de l'activité d'Engeström pour en faire l'analyse, non sans mal d'ailleurs.

Dans ce cas précis qui nous sert seulement d'exemple, les tenants de modélisation systémique de la complexité avoueraient leur incapacité à fournir tous les détails des mécanismes qui ont présidé à l'émergence de ces contradictions ; il en va de même pour ceux qui ont permis leur résolution. Ils se diront néanmoins capables de conjecturer des états finaux sans pouvoir expliquer précisément par quel chemin ils y sont arrivés. Selon Rochet, (2013b), c'est le résultat du grand nombre d'états que peut prendre un système, compte tenu des interrelations que peuvent bâtir ses parties qui rend le système complexe. Ces états ne sont pas prévisibles par analyse déterministe dès lors que le système est ouvert. Beaucoup de ces états sont émergents. C'est en ce sens que l'on peut considérer, de manière simplifiée, que « la modélisation systémique de la complexité prolonge et complète l'analyse déterministe en introduisant la notion d'émergence » (Rochet, 2013a). Il faut alors procéder par construction de modèles qui vont représenter les états possibles des phénomènes émergents.

La modélisation systémique de la complexité est un art par lequel le modélisateur exprime sa vision de la réalité. En ce sens, c'est une démarche constructiviste ; tout comme deux individus peuvent avoir des connaissances différentes d'un même savoir, deux modélisateurs ne construiront pas forcément le même modèle. Modéliser reviendrait à admettre que l'on ne peut pas tout connaître : « le chemin se construit en marchant »[99] disait le poète espagnol Antonio Machado. Nous ne développerons pas ici davantage la description de ce modèle car nous y reviendrons très largement aux chapitres 5 et 6.

---

[98] Dans un premier temps seulement car nous verrons que le modèle proposé à ce stade connaîtra, au cours de notre développement, une autre évolution.

[99] Accès au poème d'Antonio Machado : http://www.poesie.net/macha4.htm

4. Les modèles de l'activité instrumentée à l'épreuve des innovations techno-pédagogiques

Nos premiers travaux de recherche (Cf. Volume 2 : 3, 4, 11, 12, 17) visaient à exprimer l'intérêt de modéliser l'activité instrumentée en utilisant les modèles de *conception* et/ou d'*analyse* que nous venons de passer en revue (§ 3.4). Dans ce nouveau chapitre, nous voulons rendre compte des limites de ces modèles lorsque les conditions extérieures viennent à changer. En effet, les modèles précédemment cités tiennent grâce à leur structure initiale, leur ossature, construites pour répondre à un besoin bien identifié. Mais ils doivent aussi résister aux pressions exercées par les nombreuses innovations techno-pédagogiques qui déferlent par vagues successives sur le monde de l'éducation et de la formation. Sujets à de telles pressions, leur structure peut se déformer ou se redéployer sous d'autres formes pour résister aux changements de contexte. Se pose ainsi la question cruciale de leur capacité de résistance lorsque les conditions initiales changent. C'est de cette résistance au changement et des transformations qui en résultent dont il est question dans cette partie. Après un détour nécessaire sur les fondements de la théorie des systèmes complexes (§ 5.1), nous pourrons exprimer plus facilement nos arguments en faveur de l'application de cette théorie à la modélisation d'environnements numériques d'apprentissage de dernière génération (§ 5.2).

Les transformations suggérées dans ce chapitre, portant sur les modèles de conception ou d'analyse de l'activité instrumentée, sont celles que nous envisagions au moment des études présentées. Elles ont bien évolué depuis. Les plus récentes évolutions, issues de l'application de la théorie des systèmes complexes, sont justifiées au chapitre 5 et explicitées au chapitre 6.

Ainsi, les innovations techno-pédagogiques qui déferlent sur le monde de l'éducation et de la formation mettent durement à l'épreuve les modèles censés représenter les ENA en transformant le contexte dans lequel ils s'insèrent. Elles ne sont d'ailleurs pas les seules à pouvoir modifier ce contexte. Certaines transformations socio-économiques et politiques peuvent tout autant impacter durablement les systèmes en changeant par exemple les règles et codes du *e-Learning*. Ce contexte peut aussi être qualifié d'« épistémique » car il est caractérisé par un ensemble de circonstances qui interagit indéniablement avec l'action modélisatrice. Le contexte épistémique fait référence à un ensemble de données qui ont été perçues comme des raisons de croire en ces successives innovations techno-pédagogiques et ont ainsi façonné les croyances des acteurs (Ouzilou, 2011). Piaget introduit la notion de cadre épistémique pour désigner « le cadre de significations dans lequel la société insère les objets ou les événements et qui exerce une influence sur la manière dont nous assimilons et interprétons chaque expérience particulière. Le cadre épistémique se réfère donc au système social de significations qui conditionne en partie la manière dont nous interprétons l'expérience »[100]. Et c'est bien pour décrire et comprendre les comportements humains et les différents rôles joués par les techniques numériques dans le champ des apprentissages que nous utilisons ces modèles. La prise en compte du contexte épistémique n'est donc pas à négliger.

Les modèles sont également faits pour évaluer la qualité de conception des ENA et leur potentialité en fonction des publics, des dispositifs et des choix techno-pédagogiques. Ce qui caractérise un modèle, c'est sa très forte dépendance au contexte qui lui-même est caractérisé par une très grande variabilité d'usages et par des évolutions permanentes sur le plan

[100] Source : http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/ModuleFJP001/index_gen_page.php?IDPAGE=323&IDMODULE=72

technologique ou pédagogique (technologies de plus en plus mobiles, distribuées, collaboratives, participatives, adaptatives, faciles d'accès).

La question se pose alors de savoir comment les modèles actuels peuvent résister ou s'adapter à la multitude de ces nouveaux contextes et problématiques d'usages liés à l'évolution continue et rapide des innovations techno-pédagogiques ? « Plusieurs processus différents sont à l'œuvre derrière les usages, et il ne suffit pas de statuer uniquement sur leur existence et sur leur fréquence. C'est l'analyse d'un *système complexe* et de son évolution qui est requise (Bruillard & Baron, 2006, p. 283 cités par Poyet et Genevois, 2012, 5 de paragraphe). Quels modèles est-il possible de construire pour les analyser, les comparer, les concevoir ? Comment ces modèles permettent-ils de concevoir ou d'adapter les critères et facteurs d'analyse lorsque les technologies sont distribuées, adaptatives, collaboratives et participatives ? Comment permettent-ils d'observer et d'analyser la coévolution des humains et des dispositifs techniques qui s'opère dans ces contextes ?

Pour apporter quelques réponses à ces questions, nous allons partir d'exemples concrets qui s'appuient principalement sur nos observations personnelles et nos recherches passées. Chaque fois que nous y ferons allusion, nous ne manquerons pas de citer systématiquement leurs références.

4.1 DEVELOPPEMENT DU MODELE VYGOTSKIEN

Il s'agit ici de tester le premier modèle triadique de Vygotski (1978, p.40) dès lors qu'il est utilisé pour analyser l'usage d'objet(s) technologique(s) en contexte scolaire ou universitaire des plus classiques. Ce que nous dit en substance le modèle de Vygotski c'est que la connaissance émerge de l'activité humaine médiée par des artefacts (outils) et des signes. La représentation triadique qu'il propose (Figure 18) reflète parfaitement cette pensée.

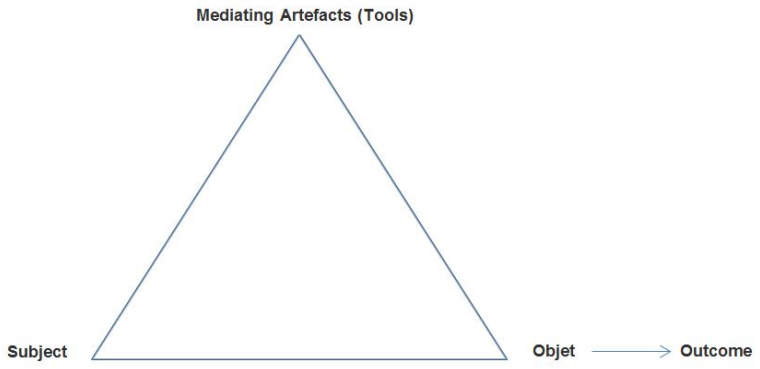


Figure 25. Première génération de modèle de l'action médiée – Vygotski

Mais est-elle suffisante aujourd'hui pour alerter le modélisateur de tous les phénomènes susceptibles d'intervenir avec un objet techno-pédagogique innovant ? Est-elle suffisante pour accompagner et soutenir son cheminement réflexif (cf. la fonction d'un modèle au § 3.1) ? Dans le cas contraire, quel autre modèle utiliser ou comment modifier celui-ci pour qu'il permette l'observation de phénomènes nouveaux ou inattendus ?

4.1.1 L'encre numérique : vers un nouveau design d'environnement numérique d'apprentissage

Pour répondre aux questions précédentes, prenons un exemple d'une simplicité rare : un enseignant-chercheur en amphithéâtre face à ses étudiants avec, entre ses mains, un ordinateur (ou presque) qu'il utilise pour projeter le contenu de son cours qu'il commente (Cf. Volume 2 : 9,10). L'enseignant est représenté dans ce modèle comme un « sujet » qui utilise un « outil » (l'ordinateur) dans le *but* de transmettre un cours : son « objet ». Ni travail collaboratif, ni activités interactives ne sont prévus durant le cours dans cet exemple. A *priori*, le modèle de Vygotski est ici grandement suffisant pour représenter le contexte de l'étude et en faire l'analyse. Pourtant, l'expérience montre que cette situation particulière peut être vécue de manière très différente par l'enseignant : dans un cas, il y adoption sans condition de l'outil permettant de projeter le cours (usage) et dans l'autre il y a un rejet systématique (non-usage). Quelle peut donc en être la cause ? Quel modèle permettrait-il de nous aider à en comprendre la raison ? A la première question, la réponse se trouve dans le type de contenu à transmettre, contenu qui n'est en outre absolument pas représenté dans le modèle de Vygotski. Autrement dit, l'usage ou le rejet de la technologie par l'enseignant tient uniquement à un problème didactique et non technique ni même pédagogique, *ceteris paribus sic stantibus*[101]. Revenons sur le contexte de l'étude pour en comprendre les raisons (Trestini, Christoffel, Rossini, 2010).

En fait, le dispositif que nous avons étudié est constitué d'un Tablet-PC (différent d'une Tablette) associé à un cahier de textes en ligne (Trestini, Christoffel, Rossini, 2010). Le Tablet-PC (Cf. Figure 26) permet de vidéo-projeter ce que l'enseignant avait coutume d'écrire auparavant au tableau et le cahier de textes de restituer en ligne l'ensemble des traces du cours (visuelles, sonores, textuelles). D'un simple « clic » de souris, l'étudiant peut alors lancer de chez lui, autant de fois qu'il le souhaite, le cours de l'enseignant par téléchargement de fichiers podcast. En tant que concept, le Podcasting présente un intérêt incontestable en pédagogie universitaire (Karsenti & Larose, 2001 ; Lebrun, 2002). Il contribue à enrichir le cours en présentiel en offrant à l'étudiant la possibilité d'y revenir et d'en consulter à nouveau certaines de ses parties. Néanmoins, la qualité didactique de ces fichiers podcast nous paraissait encore discutable. Il ne s'agit pas ici de remettre en cause l'intérêt pédagogique du concept de Podcasting mais bien au contraire de s'interroger sur la qualité didactique de son contenu. Traditionnellement, un vidéo-cours est une copie conforme du cours *in situ* en amphithéâtre ; autrement dit, une reproduction parfaite de la gestuelle enseignante sur un canal visuel (utile à tous les étudiants ?) doublée d'explications (éventuellement soutenues par une PréAO) sur un canal sonore. « Assez bien adapté aux cours magistraux dans le domaine des sciences sociales où la parole est primordiale, ce dispositif apparaît bien moins performant en sciences de la nature qui s'appuient essentiellement sur les traces écrites de l'enseignant et non plus seulement sur son discours » (Trestini, Christoffel, Rossini, 2010, 1 de paragraphe). Il est vrai que « la trace audio ou vidéo montrant la construction d'un schéma par l'enseignant a souvent plus de valeur que le schéma lui-même » (Portelli, 2010). Or, la restitution de ces traces écrites est rendue difficile, voire impossible, par l'intermédiaire d'un vidéo-cours traditionnel.

Pour pallier cette difficulté, nous avons proposé un dispositif original de vidéo-cours baptisé « Encre Numérique » (Trestini, Christoffel, Rossini, 2010). Il permet, grâce à un Tablet PC, de projeter sur grand écran l'ensemble des ressources que l'enseignant a choisi d'utiliser.

[101] Mis à part les profils cognitifs des apprenants qui n'entrent pas en considération ici.

Celles-ci comprennent à la fois les diapositives de son cours, des illustrations, des vidéos, des schémas explicatifs, mais aussi *les traces manuscrites* de l'enseignant.

Figure 26. Outil Tablet-PC (Surface Pro)

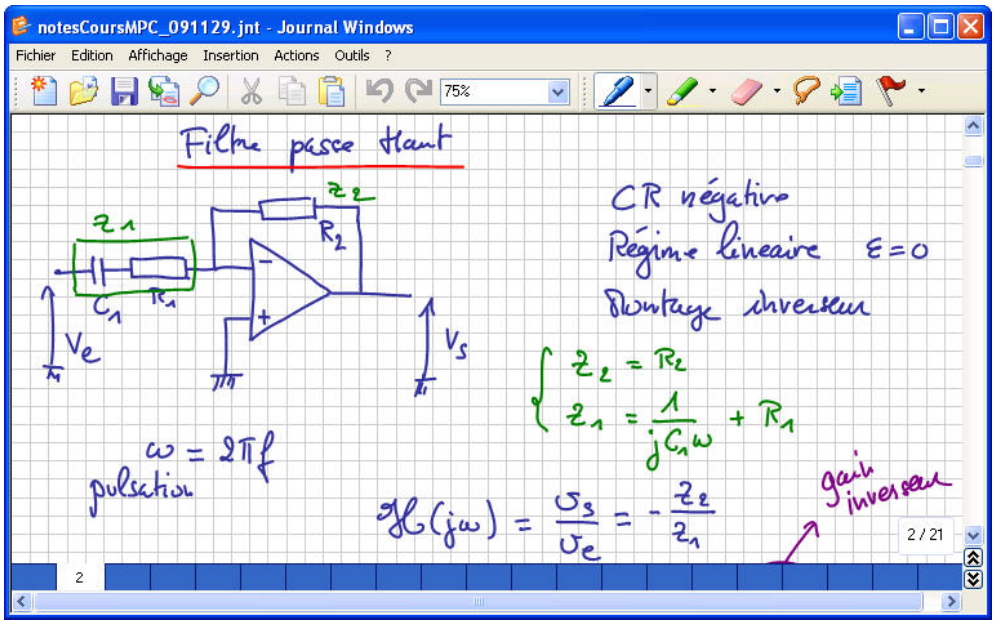


Figure 27. Exemple de rédaction de cours sur Tablet PC (Trestini, Christoffel, Rossini, 2010, 7 de paragraphe).

Durant toute la période du cours, toutes les ressources (y compris les traces manuscrites) utilisées par l'enseignant sont enregistrées de manière synchrone avec ses propres commentaires. Après découpage des séances et des séquences de vidéos-cours, celles-ci sont ensuite déposées par fraction (chapitres et sections) dans l'arborescence d'un cahier de textes en ligne à destination des étudiants. Ces derniers peuvent alors à leur guise consulter tout ou partie du cours.

Notre expérience montre que si l'outil est volontiers utilisé par les enseignants des sciences dures, il est à l'opposé rejeté par les enseignants des sciences sociales et ce pour une même configuration d'enseignement-apprentissage ou pour une même posture pédagogique. Inversement, le vidéo-cours traditionnel où l'enseignant est simplement filmé pendant qu'il transmet son cours fait beaucoup plus d'adeptes en sciences sociales qu'en sciences dures. Le contenu à transmettre provoque à lui seul cette importante différence dans les usages.

De cette expérience, nous en sommes arrivés à la conclusion que sans moyen de distinguer l'artefact didactique (le type de contenu du cours à transmettre) de l'artefact technique et pédagogique, tous les trois enfouis au cœur du pôle « outil » du modèle de Vygotski, nous n'aurions probablement pas été alerté par l'existence d'un lien fort de dépendance entre l'usage du Tablet-PC et le contenu didactique à transmettre et ce pour une même configuration (scénarisation) pédagogique.

Pour le dire autrement, le modèle de Vygotski n'était pas propice à la détection d'un possible « conflit instrumental » (Marquet, 2011) entre au moins deux de ces trois artefacts avec pour conséquence le risque de proposer « une démarche d'ingénierie trop rapide ou incomplète » (Marquet, 2011, 4 de paragraphe). Nous entendons par conflit instrumental « les conséquences d'une interférence qui pourrait survenir entre un ou plusieurs artefacts en jeu dans la situation » (Marquet, 2005, p. 387). De fait, il nous paraissait utile de proposer une expansion du modèle de Vygotsky. Celle-ci devrait pouvoir révéler les trois artefacts enfouis dans le pôle « outils » (Cf. figure 28).

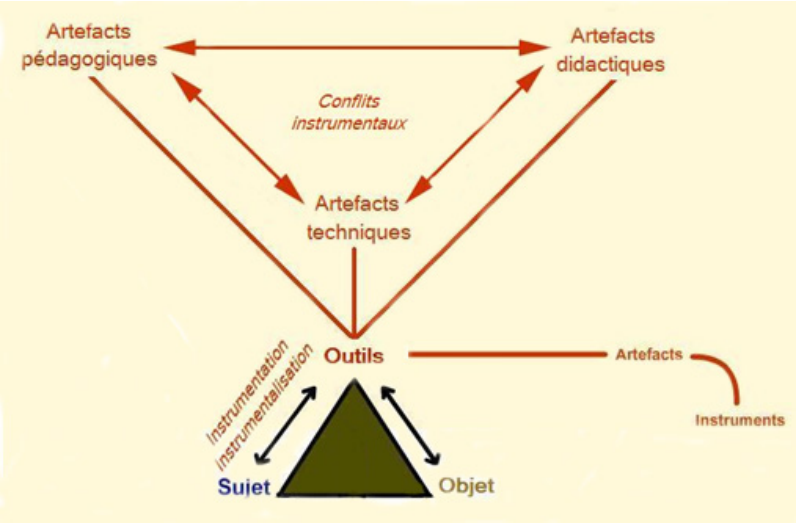


Figure 28. Expansion du modèle triadique de Vygotski (par Trestini)

4.1.2 Usages des tablettes (iPad) en contexte scolaire

Par ailleurs, pour montrer les limites du modèle de la structure de l'activité médiatisée de Vygotsky (Figure 22 ou 31) et reconnaître en outre l'intérêt d'être passé de ce modèle à celui d'Engeström (1987), citons un autre exemple. Il s'agit de l'usage en contexte scolaire de la « Tablette » (différent du Tablet-PC) qui fait actuellement l'objet d'un vaste plan d'équipement[102] national dans le cadre du « plan numérique » déployé progressivement en France depuis la rentrée 2015.

[102] 1 256 écoles et 1 510 collèges au moins seront équipés en tablettes à la rentrée 2016. C'est près d'un quart des collèges qui rejoignent donc le plan numérique. Plus de 175 000 élèves seront dotés de tablettes numériques, cofinancées par l'État et par les collectivités

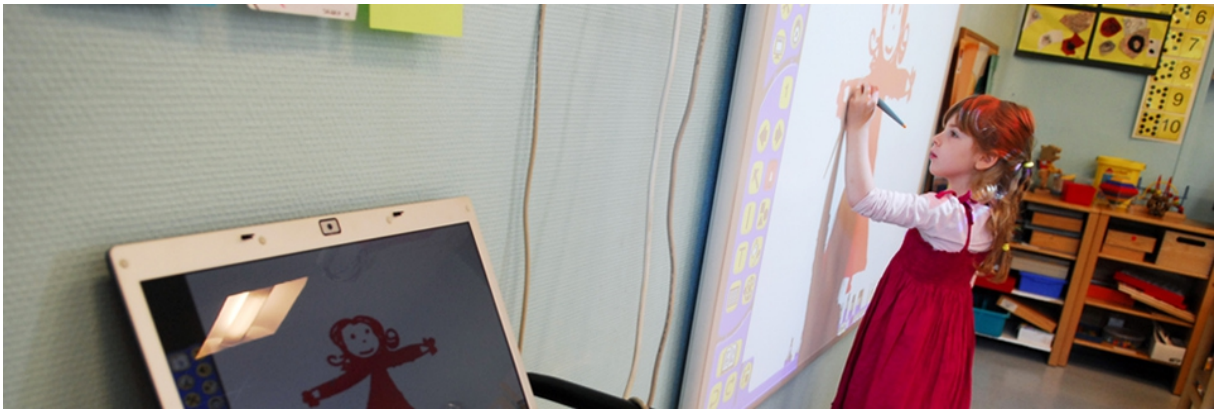


Figure 29. Plan d'équipement des écoles en « Tablettes » (source : Site du gouvernement français, 12 mai 2016).

L'incomplétude décelée dans le modèle de Vygotski vient du fait que cette innovation technologique reconfigure complètement le rapport du « sujet » à l' « objet ». En effet, une étude de Taylor (2006, cité in Sharples, 2007, p.9) montre qu'en redéfinissant les contextes d'apprentissage (l'environnement mobile est éminemment propre à soutenir l'apprentissage en dehors du contexte des programmes, des institutions et des calendriers)[103], ces espaces virtuels modifient le rapport des élèves au savoir. Dans son contexte d'usage, l'outil « Tablette » (iPad) ne serait plus uniquement au service de l'activité de production de l'élève (comme l'était l'ordinateur en classe) mais surtout au service du partage et de la consommation de contenu de manière interactive et collaborative (Melhuish, & Falloon 2010, p.1), tout au moins dans les usages observés. La structure du modèle de Vygotski s'en trouve bousculée et son application compromise car elle ne permet pas de représenter cette nouvelle donne.

En transformant le contexte d'apprentissage, les tablettes sont désormais considérées comme des « outils de *consommation* et de divertissement par la culture dominante et éloigne le sens que lui confère l'élève de celui d'un *outil de création et d'apprentissage* » (Martineau et Barma, 2013). Serait alors décelés des contradictions dans la perception de l'utilité de l'outil par les élèves (*Idid.*).

Pour mettre en évidence ces contradictions, Martineau et Barma (2013) ont choisi d'utiliser le modèle Engeström (1987) qui est lui-même une transformation du modèle de Vygotski. Ce modèle considéré comme une expansion de ce dernier prend en compte non seulement l'activité de « Production » de l'élève mais aussi celle de « Consommation » de l'information (Figure 36) et permet en outre l'analyse des contradictions à l'œuvre entre ces deux activités à l'intérieur de chaque pôle (contradictions primaires) ou entre ces pôles (contradictions secondaires).

---

territoriales. Information datant du 12 mai 2016 récupérées du site du gouvernement français : http://www.gouvernement.fr/action/l-ecole-numerique

[103] Traduction de L'auteur de "… the mobile environment is eminently suited to supporting learning outside the context of curricula, institutions and timetables"

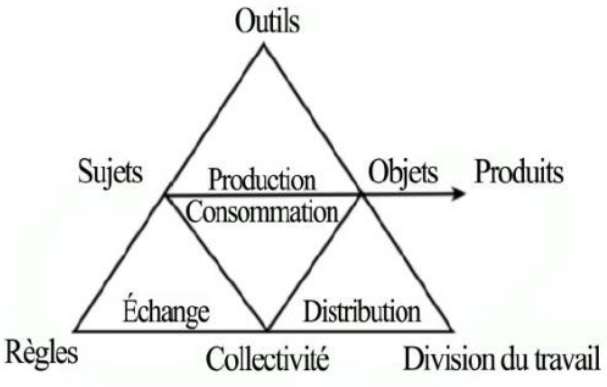


Figure 30. La représentation de la théorie des systèmes d'activité (d'après Engeström, 1987)

Rappelons qu'« Yrjö Engeström considérait lui-même le triangle de Vygotsky comme étroit et inadéquat pour décrire l'action humaine et tous les facteurs qui influent sur elle »[104] (Lönnberg, Paloheimo, Lahti, Keltikangas et Mannilan, n.d.) ; c'est donc avec les même arguments et à dessein qu'il a construit ce modèle que de nombreux chercheurs ont utilisé par la suite (comme Martineau et Barma, 2013, pris ici en exemple).

4.2 EXPANSION DU MODELE D'ENGESTRÖM

4.2.1 A la recherche d'un modèle fédérateur en EAD

Au cours de nos toutes premières recherches (Trestini, 2005 ; Benayed, Trestini et Verreman, 2006 ; Trestini et Lemire, 2010,…) portant sur l'analyse ou la conception d'ENA (principalement dans le cadre de l'EAD), notre intention était de déployer un cadre conceptuel flexible qui puisse être représentatif, non seulement de la diversité des acteurs et des outils en jeu, mais aussi de la variété des approches méthodologiques et pédagogiques employées dans le cadre de l'EAD. Il devait aussi faciliter l'étude et la coordination des différentes tâches à accomplir et des différents acteurs impliqués dans ce type d'environnement tout en s'appuyant sur un cadre théorique acceptant l'idée d'un apprentissage collaboratif.

Pour ce faire, et à plusieurs reprises, nous avons eu recours à la modélisation systémique d'Engeström (1987) issue des théories de l'activité (Vygotski, Léontiev). Comme nous l'avons vu au § 3.44, ce modèle permet de représenter concrètement ce cadre conceptuel et d'exploiter les différentes relations entre les pôles de son environnement interne (l'outil, le sujet et l'objet) et celles de son environnement externe (la communauté, les règles et la division du travail). Les figures 31 et 32 illustrent respectivement ces deux environnements.

[104] Traduction personnelle tirée Lönnberg, J., Paloheimo, A., Lahti, L., Keltikangas, K. et Mannila, L. (n.d.). *Methods and results in Computing Education Research* (8 cr) Assignment 2 for 3rd meeting [en ligne]. Récupéré du site : http://www.cs.hut.fi/u/aura/paivin_seminaari/activity_theory.pdf

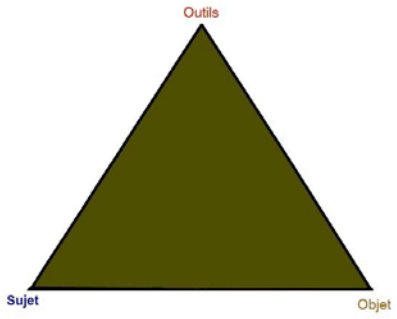


Figure 31. Relation individuelle médiatisée (Trestini et Lemire, 2010)

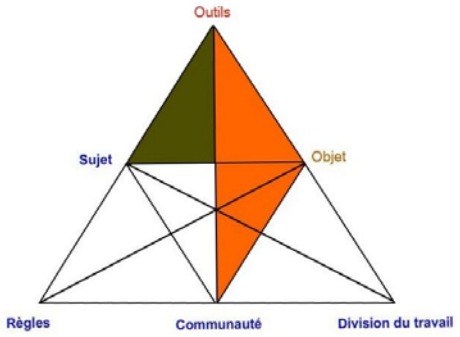


Figure 32. Structure de base d'une activité (Trestini et Lemire, 2010)

Plus largement, ce modèle permet de se projeter dans une démarche de conception ou d'analyse d'un ENA en explorant chacune des triades que délimitent les relations matérialisées par des segments. Des tensions ou contradictions susceptibles de survenir (ou déjà actives) peuvent alors être décelées grâce à ce modèle (figure 2). Par exemple, la manière dont l'objet est partagé par le biais de l'outil avec la communauté peut être étudiée. D'éventuelles tensions entre ces pôles pourront alors être révélées et/ou évitées au cours de l'analyse de cette triade particulière (en orange sur la figure 2).

C'est précisément au cours de plusieurs tentatives de conception ou d'analyse de dispositifs de formation à distance fondés sur des *designs* d'environnements constructivistes d'apprentissage que nous sont apparues les premières limites du modèle d'Engeström et notre intention d'en proposer une expansion[105]. Le besoin de décomposition de chacun des pôles (ou constituants) du modèle se faisait ressentir pour révéler l'existence de certains composants du système « enfouis » ou « maqués » à l'intérieur de chacun des pôles du modèles. Pour de nombreuses raisons que nous ne pouvons pas développer ici (analyse des conflits instrumentaux, acteurs de profils différents, communautés d'acteurs différentes, etc.), il nous fallait résolument ouvrir ces boîtes (les pôles du modèle) pour en révéler les présumés constituants dont nous avions besoin pour pousser plus avant notre analyse. Nous nous sommes alors lancés dans une décomposition en grappes de chacun des pôles du modèle en établissant de nouvelles relations entre eux (Cf. Volume 2 : 12).

Après une première représentation témoignant de cette intention (Fig. 33), un modèle hologigogne (gigogne en tout point) en est ressorti. L'homologie[106] inattendue avec la théorie des fractales de Mandelbrot (Fig. 38) est évidemment tout à fait fortuite. Nous en resterons donc pour l'instant à cette observation pour éviter de trop nous avancer quant à une éventuelle similitude avec cette théorie qui postule qu'un ordre existerait dans ce que l'on pourrait appeler un « désordre systémique ».

Cette expansion du modèle d'Engeström s'est donc produite progressivement et à différentes époques. Pour chacune d'elles, elle s'est en outre effectuée dans des dimensions différentes de l'espace : tout d'abord de façon un peu désordonnée dans le plan (Figure 33) à l'occasion de notre travail de thèse (Trestini, 2005) puis, toujours dans le plan, mais cette fois avec plus de régularité (Figure 34) à l'occasion de la conception de dispositifs de CLE (Trestini et Lemire, 2010) et pour finir dans l'espace, en 3D (Figure 35), à l'occasion de l'analyse de la mise en

[105] Cette expansion n'a rien à voir avec le processus d'expansion du système de l'activité (Engeström, 1987) cité au § 3.4.5.

[106] En biologie de l'évolution, une **homologie** désigne un même caractère observé chez deux espèces différentes (source : Wikipédia)

place d'un cahier de texte en ligne au sein de l'ENT scolaire PLACE[107] de Lorraine (Trestini, 2009b). La figure ci-dessous montre fidèlement notre première « intention » d'expansion du modèle telle que nous l'imaginions en 2005 (Figure 33) :

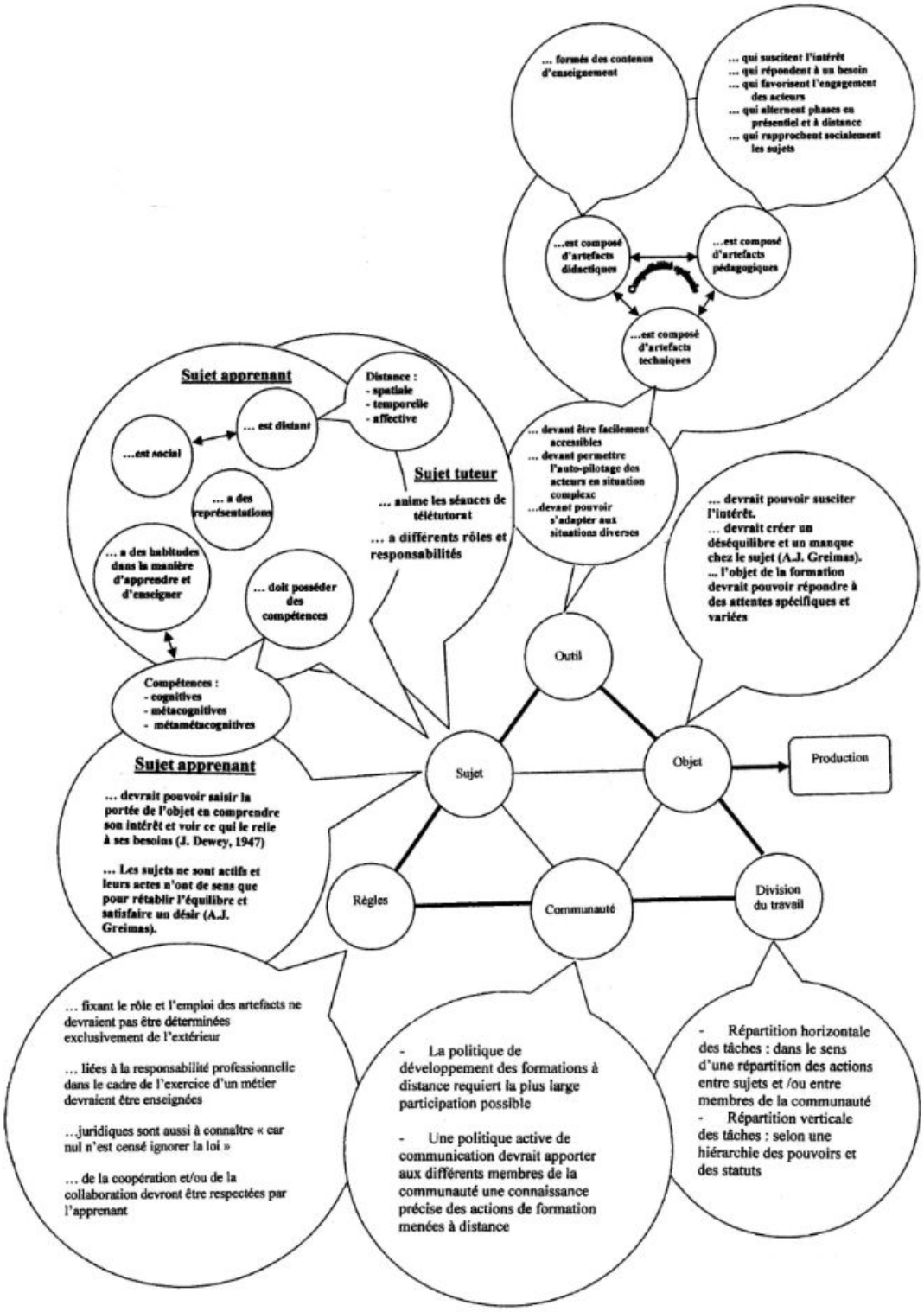


Figure 33. Modélisation à partir des données de l'analyse du système (Trestini, 2005).

[107] PLACE : Plateforme Lorraine d'Accessibilité et de Communication pour l'Éducation est la solution d'Environnement Numérique de Travail (ENT) pour les lycées lorrains mis en œuvre dans les années 2009-2010.

4.2.2 Première expansion du modèle d'Engeström pour un *design* de CLE

Concernant la représentation qui a suivi, quelques éléments de contexte seront utiles à la compréhension. Nous cherchions (Trestini, Lemire, 2010) à baliser le parcours réflexif du designer en vue de la conception d'environnements numériques d'apprentissage fondés sur des designs d'environnements constructivistes d'apprentissage (CLEs)[108]. Pratiquement, nous proposions une démarche fondée sur la théorie de l'activité (Vygotski, Léontiev) et sa représentation systémique (Engeström) qui permettrait, après quelques aménagements apportés au modèle de base, d'exploiter les pôles de l'environnement interne du monde de l'apprentissage visé (les outils, le sujet et l'objet) et ceux de son environnement externe (la communauté, les règles et la division du travail). Ils devenaient ainsi tour à tour pôle-noyau autour duquel les autres pôles pivotent en constituant des réseaux de relations. De celles-ci ont découlé des considérations accompagnant la démarche réflexive menée par les designers de CLE dans le but de les modéliser finement et d'en faciliter ainsi la conception, la scénarisation et la production (Cf. Volume 2 : 12).

Tout cela apportait un éclairage particulier à la démarche de modélisation des CLEs. Les réseaux de relations du modèle d'Engeström étaient mis en relief et laissaient entrevoir les projections d'autres réseaux à construire. La démarche que nous décrivions alors devait fournir aux concepteurs de CLEs les moyens de pousser aussi loin qu'ils le planifiaient l'investigation des relations existantes au sein du système et de ses classes. « Par l'ajout de sous-classes, chaque classe se développe *en grappes* de constituants et sous-constituants qui sont rattachées à chacun des pôles du modèle. Emboîtés les uns dans les autres à la manière des poupées russes, chaque constituant ou sous-constituant en contient de plus petits et est en mesure de les révéler. Ils se voient ainsi attribuer un à un des propriétés, encore appelées attributs. La Figure 34 illustre ce développement en grappes dans le cas particulier du pôle *outils* » (Trestini, Lemire, 2010, p. 58).

Nous ajoutions donc au pôle « outils » des composants plus fins (Figure 34), ce sont : i) les artefacts pédagogiques et les types d'activités qui s'y rattachent : l'activité collaborative ou coopérative, l'activité d'accompagnement, de soutien au travail personnel, etc. ; ii) les artefacts didactiques : les contenus d'enseignement à transmettre qui résultent d'une transposition didactique du « savoir savant » en « savoir présenté » ; et iii) les artefacts techniques (support, architecture, réseaux, …). Ces artefacts, qu'ils soient pédagogiques, didactiques ou techniques, contribuent au développement de l'activité humaine des apprenants. Nous pensions que ces nouveaux composants, révélés par l'explicitation de la structure du pôle « outils », donneraient aux *designers* une meilleure lisibilité des rapports que les sujets sont susceptibles d'entretenir avec ces artefacts. D'éventuels « conflits instrumentaux »[109] entre ces trois artefacts pourraient en outre être évités grâce à la vigilance des designers que ce modèle alerte. Quelques prédictions pourraient en être déduites : tel type de scénario pédagogique semble mieux adapté qu'un autre pour faciliter l'appropriation de tel ou tel contenu d'enseignement, avec tel ou tel type de média.

---

[108] CLE est l'acronyme de *Constructivist Learning Environment*.

[109] Marquet, P. (2005). « Intérêt du concept de conflit instrumental pour la compréhension des usages des EIAH », *Actes de la conférence EIAH 2005*.

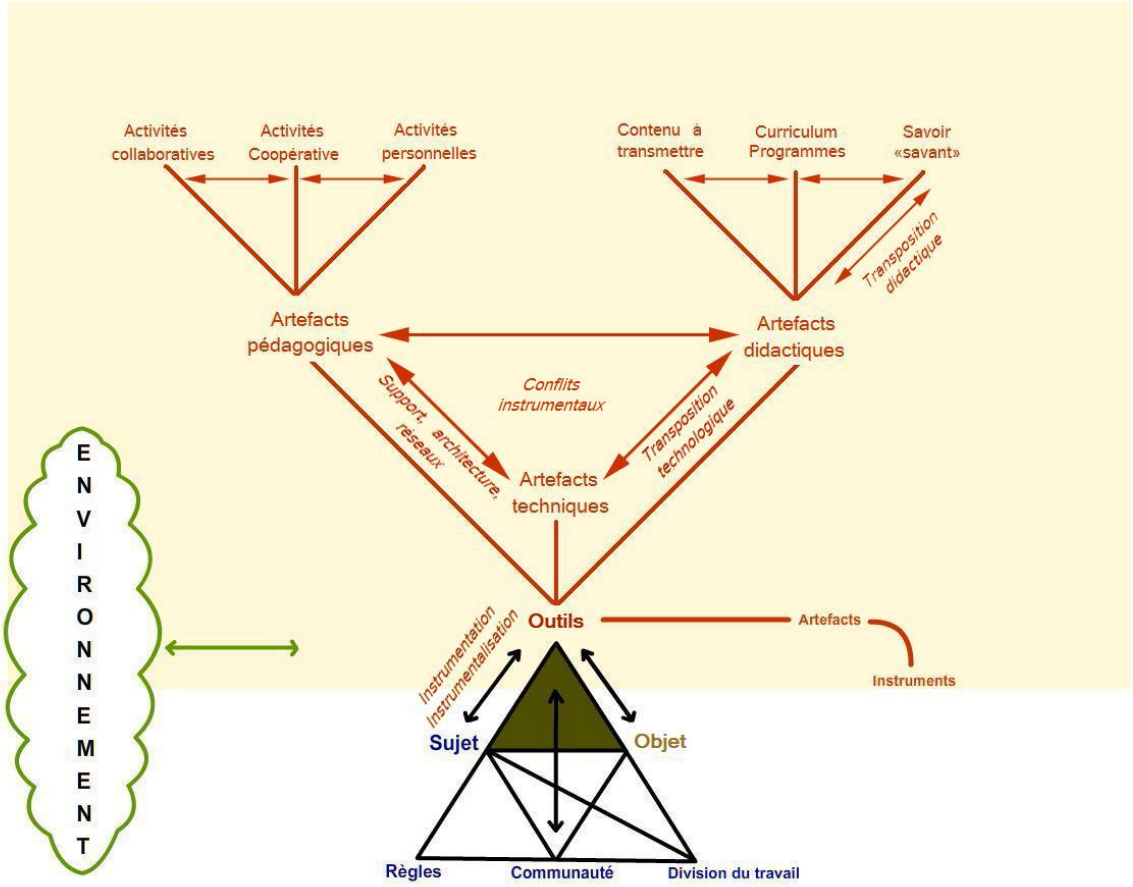


Figure 34. Modèle avec extension du pôle Outil

Pour concevoir un CLE, l'objet doit être transformé par les sujets du système d'activité. Il peut alors retenir l'attention du modélisateur. Les objets de l'activité peuvent être : des objets physiques (e.g. des objets à construire), des objets logiciels (e.g., un programme informatique) ou des objets conceptuels (e.g., une théorie, un modèle théorique qui est négocié). Tous les contenus envisagés dans une visée cognitive deviennent objets d'apprentissage, que ce soit comme matière à conceptualisation, à instrumentation ou à « curriculum ». Le sujet demeure quant à lui le pôle vital en matière de conception de CLEs ; les outils et l'objet sont à son service. Des réseaux de relations le lient aux autres composants et sous-composants que le modèle comporte. Cela se produit au fur et à mesure que des rapports sont définis entre les intervenants compte tenu des rôles qu'ils sont appelés à jouer : le sujet devient être apprenant, enseignant, concepteur, ou encore coordinateur de la formation qu'il organise, tuteur des groupes qu'il anime, des apprentissages dont il ajuste le rythme. Se créent alors des communautés et leurs intersections dans lesquelles s'inscrit le sujet.

En conclusion, nous rappelions synthétiquement le cheminement réflexif qu'il conviendrait d'entreprendre si nous tenions compte des pôles de l'environnement externe, comme le pôle des règles, celui de la division du travail et celui de la communauté. Nous le faisons en soulignant les transformations dont le modèle serait susceptible de devenir la cible.

Pour aller plus avant dans l'approfondissement du modèle d'Engeström, nous envisagions de cibler les pôles secondaires, dont ceux que nous reconnaissions comme faisant partie du pôle sujet, soit celui de la division du travail, celui de la communauté et celui des règles. Ainsi et en regard des relations qui lient le *designer* à la communauté et à la division du travail, celui-

ci est conduit à établir préalablement des règles : i) en fixant notamment les rôles et responsabilités des acteurs, et ii) en déterminant la répartition des tâches. Ces dernières sont partagées et assumées par la communauté; celle-ci est indéniablement un constituant capital du système d'activité.

Après avoir accompli la démarche de conception d'un CLE à partir d'une réflexion continue chargée d'intentions, il y avait lieu de reconnaître que cela se produisait non pas dans le monde de l'action, mais dans celui des idées.

Faire du *design* de CLE constitue une démarche qui vise simultanément à concevoir, explorer et exploiter de manière systémique et dynamique les composants d'un environnement constructiviste d'apprentissage pour en établir la représentation idéalisée. Des champs aussi différents que celui des outils, celui des sujets et celui objets y sont rassemblés. En pratique, la démarche proposée prônait l'usage de représentations modélisées du CLE. Elle était une contribution préalable à toute activité de scénarisation et de production concrète d'environnements propices aux apprentissages. Comme dans le système de conception (Simon, 1991), l'activation du processus devait engendrer un plan d'actions intentionnel (Lemire, 2008) en rapport avec le projet. Cela devait d'abord servir à orienter le travail du concepteur-designer de CLE, mais aussi à l'aider à résoudre les problèmes rencontrés et à ajuster constamment les interfaces des mondes réel et représenté de l'objet pris en considération.

4.3 NOUVEAU CONTEXTE D'USAGE ET NOUVELLE EXPANSION

La deuxième expansion importante du modèle d'Engeström a été évoquée au paragraphe précédent. Montrant trop de résistance au contexte de l'étude, le modèle a été développé non plus dans le plan comme précédemment, mais dans l'espace (Figure 35). L'environnement numérique trouvait alors dans cette nouvelle représentation une troisième dimension pour s'exprimer et se déployer (3D).

C'est à l'occasion d'une « étude sur le cahier de textes de l'Environnement PLACE » que ce besoin de modélisation est apparu (Cf. Volume 2 : 11). La modélisation proposée a en outre été présentée au symposium International[110] Cned-Eifad 2009 (Trestini, 2009). Elle a fait par la suite l'objet d'une publication dans la revue « Distances et savoirs » (Cherqui-Houot, Trestini et Schneewele, 2010). Revenons à présent sur quelques éléments de contexte avant de justifier le besoin d'expansion du modèle.

4.3.1 Les ENT scolaires : le cahier de texte en ligne

L'utilisation d'un ENT dans un établissement scolaire pouvait être questionnée tant du point de vue de l'organisation et de l'institution que de celui de l'ingénierie et de la pédagogie, des apprentissages des élèves, ou encore de la place des parents quant au suivi de leur(s) enfant(s). La recherche dont nous faisons état ici s'intéressait à ces différents aspects en se centrant en particulier sur l'usage d'un *objet* spécifique souvent intégré aux ENT scolaires : *le cahier de textes en ligne*. « Outre son caractère innovant dans le cadre d'une recherche exploratoire, il présentait l'avantage heuristique de se prêter à évaluation selon quatre perspectives (administration, enseignants, élèves, parents) et d'en permettre l'observation, la caractérisation et la qualification des médiations à l'œuvre dans l'espace scolaire » (Trestini, 2009).

[110] Cned-Eifad 2009, Site du Futuroscope : « Distances et savoirs a sept ans ! »

Il s'agissait alors, (i) d'identifier les fonctions du cahier de textes (cadre de fonctionnement) et d'observer ses premiers usages (cadre d'usage) par des enseignants, des élèves et leurs parents, de l'administration et de l'encadrement (inspecteurs en particulier) dans le but de mesurer l'impact de cet outil sur les pratiques habituelles ; (ii) de caractériser les pratiques liées à cet outil (pratiques institutionnelles, pédagogiques, d'apprentissage, de communication, pratiques de suivi des élèves) et mettre en évidence les continuités ou ruptures occasionnées avec les pratiques habituelles. L'observation des usages réels de cet outil par les bénéficiaires devaient en outre permettre de les comparer à ceux prescrits par les concepteurs.

4.3.2 Deuxième expansion du modèle : faciliter l'analyse du cahier de texte en ligne

Il s'agit surtout de comprendre comment le passage d'une possibilité de consultation par un nombre d'acteurs relativement restreint (au sein de la classe) à une possibilité de consultation au sein d'une communauté élargie (la communauté éducative virtuellement présente sur le web : parents, élèves, administration) agit sur la manière des enseignants à décrire et à prescrire les activités pédagogiques de la classe. En quoi est comment l'activité d'instruction du cahier de textes se trouve-t-elle remaniée par la mise en ligne de ce support ? En quoi et comment l'activité pédagogique de l'enseignant dans son ensemble s'en trouve-t-elle reconfigurée ? Ce sont tout particulièrement ces reconfigurations qui nous intéressaient et que nous voulions analyser.

…c'est en changeant les règles de l'analyse que nous testons la résistance du modèle utilisé…

Une fois encore et au-delà de la problématique générale soulevée, on constate que c'est en changeant les règles de l'analyse que nous testons la résistance du modèle utilisé (celui d'Engeström ou son expansion précédente) et que nous montrons éventuellement ses limites. Pour une communauté homogène et bien identifiée, les modèles précités résistent relativement bien à l'analyse. Le pôle sujet est formellement reconnu dans ce modèle comme étant « un individu » ou « des individus » ou encore « un groupe » à analyser. Mais dès lors qu'il s'agit de comprendre comment le passage d'une possibilité de consultation par une communauté d'élève à une possibilité de consultation au sein d'une communauté élargie (la communauté des parents, des élèves, des enseignants voire de l'administration) le modèle montre indubitablement ses limites. Dans ce modèle, il n'est pas fait mention de groupes distincts, tout au moins pas à notre connaissance. La manière dont communique par exemple chacune des « communautés » entre elles, en utilisant un « objet » commun (le cahier de texte) n'est pas « représentable » à l'aide des modèles précédents. « La plupart des modèles […] se concentrent en effet sur une catégorie donnée d'acteurs » (Oubahssi, Grandbastien, 2007). Une nouvelle façon de développer le modèle a alors été proposée (Trestini, 2009) en sortant le modèle de sa représentation plane pour occuper cette fois tout l'espace (Figure 35). Cette représentation permet par exemple d'étudier la manière dont l'objet « cahier de textes » est partagé par le biais de l'outil PLACE, soit par la communauté composée exclusivement d'élèves, soit par celle composée exclusivement de parents, etc. Mais il devient aussi possible d'analyser d'éventuelles tensions ou contradictions dans la manière de partager cet objet entre les différentes communautés ; celles des parents, celle des élèves, etc… C'est là tout l'intérêt de cette nouvelle expansion du modèle qui autorise cette représentation et facilite ainsi l'analyse du dispositif.

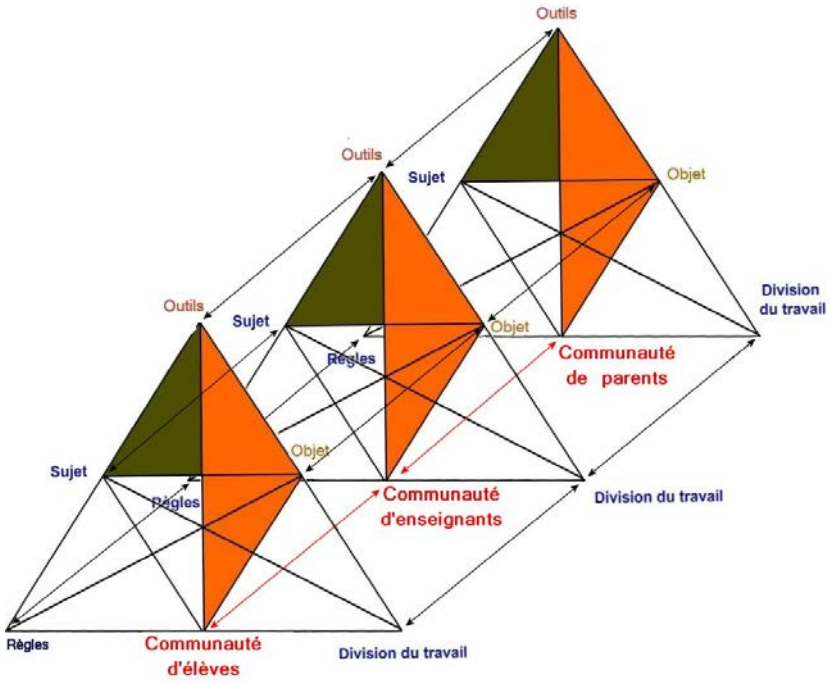


Figure 35. Relations entre activités communautaires

Nous pourrions continuer à montrer les limites de ce modèle en l'utilisant par exemple dans le cadre plus global de l'analyse des usages des ENT scolaires (et non plus seulement de ceux du cahier de textes lequel constitue qu'une seule de ses briques logicielles). Il montrerait très vite son incapacité à représenter « séparément les usages des différentes fonctionnalités qui ne se comportent pas toutes de la même manière bien que faisant partie d'une même entité globale, l'ENT » (Poyet et Genevois, 2012, 12 de paragraphe). Cette dissociation a en outre permis à ces derniers auteurs d'établir par d'autres moyens « des comparaisons d'usages ou de non-usages entre ces fonctionnalités » (*Ibid.*, 12 de paragraphe).

4.4 EXPANSION DES MODELES D'INGENIERIE PEDAGOGIQUES ET DE FORMATION

Nous avons présenté dans notre « tour d'horizon » des modèles et langages de modélisation (3.4) quelques-uns des modèles actuels d'ingénierie pédagogique (3.4.1) et de formation (3.4.2). Nous avons précisé en quoi ces modèles avaient progressé pour tenir compte d'une part de l'évolution des conceptions de l'enseignement (pédagogies actives et collaboratives notamment) et d'autre part de l'ensemble des activités (et non uniquement celles à caractère pédagogiques ou didactiques) « au sein d'un processus global de formation ouvertes et à distance » (Grandbastien *et al.*, 2003).

Examinons ici comment ont résisté ces modèles sous la pression de ces deux contraintes mises en perspective et envisageons en conclusion quelques possibilités d'évolution globale des modèles d'ENA face à l'émergence de nouvelles modalités de formation sur la toile, comme les MOOC par exemple.

4.4.1 Résistance des modèles d'ingénierie pédagogique

Depuis l'expansion des environnements numériques d'apprentissage, un effort important a été porté aux modèles et standards permettant d'en organiser la conception. Comme le

soulignaient Pernin et Lejeune (2004b) et Pernin (2003), le modèle dominant initial se focalisait « sur un mode d'apprentissage transmissif et sur des théories behavioristes de l'apprentissage ».

Mais une fois encore, l'apprentissage ne se réduit pas à un simple transfert de connaissances à partir de ressources mises à disposition de l'apprenant. « L'acquisition de connaissances et de savoir-faire provient de nombreuses sources et de formes d'activités variées (Koper, 2001) comme par exemple la résolution de problèmes, l'interaction avec de véritables outils et la collaboration avec d'autres acteurs. Pour améliorer et diversifier les formations en ligne, il est donc apparu nécessaire de porter attention aux activités au sein du processus d'apprentissage, en particulier celles de l'apprenant, et de décrire et organiser ces activités » (Oubahssi, Grandbastien, 2007). De ce constat, les premiers modèles « Centré Contenu » n'ont pas résisté aux conceptions constructivistes de l'apprentissage. Et c'est bien pour cette raison que Koper (2001) a été à l'initiative de la modélisation IMS-LD « Centrée Processus ».

Cette approche « constitue une véritable rupture en dissociant formellement activité et ressource et en précisant les relations sémantiques les reliant » (Pernin, Lejeune, 2004).

Depuis, plusieurs chercheurs se sont impliqués dans des projets consistant à enrichir ces modèles pédagogiques, notamment par la modélisation de scénarios pédagogiques collaboratifs (Pernin et Lejeune (2004b) ; Ferraris, Lejeune, Vignollet et David, 2005) et en cherchant à soutenir l'élaboration et la réutilisation de scénarios pédagogiques (Ferraris, Lejeune, Vignollet et David, 2005 ; Lafourcade, 2005 ; Oubahssi, Grandbastien, 2007 ; Villiot-Leclerck, 2007 ; etc.) avec des spécificités propres à chacune des recherches.

La volonté de modéliser plus particulièrement *les scénarios pédagogiques collaboratifs* marque donc une nouvelle rupture avec les modèles IMS-LD, ou plutôt un attrait pour l'expansion de ces modèles. Pour illustrer ce besoin, Ferraris, *et al.* (2005) donnaient un exemple concret d'enseignants du LOG (Lycée Ouvert de Grenoble), qui propose des phases de formation à distance pour des publics spécifiques (enfants malades, sportifs de haut niveau en déplacement). « Le problème qui se pose est la difficulté de planifier a priori des activités collaboratives pour une classe virtuelle, car les environnements disponibles offrent seulement à l'enseignant des enchaînements de boîtes de dialogue et ne conservent pas une version explicite et réutilisable des actions réalisées pour cette mise en œuvre. L'expertise de scénarisation collaborative des enseignants n'est donc pas capitalisée » (Ibid.). Considérant le scénario pédagogique créé par l'enseignant comme largement improvisé et très évolutif, ces chercheurs ont voulu intégrer au modèle une dimension *de régulation et d'observation*, autrement dit la possibilité d'observer ce qu'il se passe lorsque le scénario se déroule et permettre à l'enseignant d'intervenir et de le modifier dynamiquement en cours d'exécution.

Face à une situation pédagogique concrète, ils se sont d'abord posés la question de savoir si IMS-LD pouvait les aider à formaliser et à modéliser comme ils l'entendaient le scénario collaboratif proposé. Ils en ont déduit que certains objets de concept se prêtaient assez bien à la modélisation IMS-LD alors que pour d'autres, le modèle se montrait plus résistant (problèmes d'expressivité au niveau des activités collaboratives, difficulté à exprimer le résultat d'une activité, impossibilité de réguler, etc.). Santos & al (2004) l'annoncent clairement, IMS-LD ne fournit pas de descripteur spécifique pour décrire les interactions des membres d'une activité de type collaboratif. Ils ont provisoirement répondu à ce problème en définissant autant de rôles individuels que nécessaire, chacun d'entre eux étant assigné à des tâches spécifiques parallèlement à l'activité collective (Ferraris *et al.*, 2005). Ils ont également décidé de partir d'un « Modèle de Participation » (Martel et al., 2004) qui avait été formalisé dans un autre contexte (celui des collecticiels). Son objectif était de décrire une activité de groupe (activité collaborative) dans lequel les acteurs sont considérés comme des participants

actifs qui construisent eux-mêmes leur espace de travail et définissent leurs conditions de travail, l'engagement qu'ils prennent, les rôles qu'ils vont jouer, tout ceci dans une logique de co-construction de l'activité *a priori*. Mais ne nous y trompons pas, cette activité *a priori*, n'exclut évidemment pas la possibilité d'une autorégulation, c'est-à-dire que les concepts mis en place permettent à tout moment de changer le scénario pédagogique.

Le scénario décrit dans un texte libre est traduit dans le méta langage IMS-LD et son expression est enrichie par l'utilisation du « méta-modèle de participation» (Martel et al., 2004).

Techniquement, les scénarios pédagogiques sont décrits par un ensemble de métadonnées descriptives qu'ils ont été chercher dans IMS-LD (quel public visé, objectifs pédagogiques). Mais d'autres concepts issus du « modèle de participation » viennent enrichir le modèle collaboratif comme celui d'enceinte (lieu où se déroule l'activité), de position (comment les acteurs se positionnent dans cette collaboration), de rôles, de règles, etc.

Il est ici utile de noter que pour modéliser ces scénarios pédagogiques collaboratifs, cette équipe de chercheurs a défini un nouveau langage de *Learning Design Langage* en utilisant le *formalisme du diagramme d'activités d'UML*. Cette remarque est utile pour comprendre les choix que nous ferons par la suite.

Un exemple de descriptif de scénario est présenté en figure 36 et le diagramme d'activités qui lui correspond en figure 37.

Le Comité se rassemble à nouveau pour prendre ou non la décision d'éditer la fée carabine.
De nombreux membres sont d'accord, mais encore une main se lève ;
C'est une jeune femme ; elle prend la parole : « Je trouve choquant que Mo le Mossi et Simon tuent Risson par overdose. Ce n'est pas à eux de faire la justice ! ». Elle se réfère au chapitre 32.
Un murmure parcourt l'assemblée. Les réactions ne se font pas attendre. **Et vous qu'en pensez-vous ?**
Mais le directeur regarde l'heure et propose de continuer la discussion au café-forum du quartier.
Objectif : Se positionner dans un débat
Modalité :
Les élèves prennent connaissance des consignes, puis le directeur nomme un rapporteur parmi les élèves du groupe et invite ces derniers à rejoindre le forum de discussion appelé « espace débat ».
Dans le forum, chacun devra intervenir au moins deux fois, soit pour prendre position et pour avancer un nouvel argument sur le geste de Mo et Simon, soit pour répondre à un argument.
Après 20' de discussion, le rapporteur fera état des principales positions au reste du groupe, et après négociation, en fera un document de synthèse.
Le document de synthèse sera alors présenté au Directeur par le rapporteur.

Figure 36. Texte descriptif du scénario (Ferraris et al. 2005, p.6).

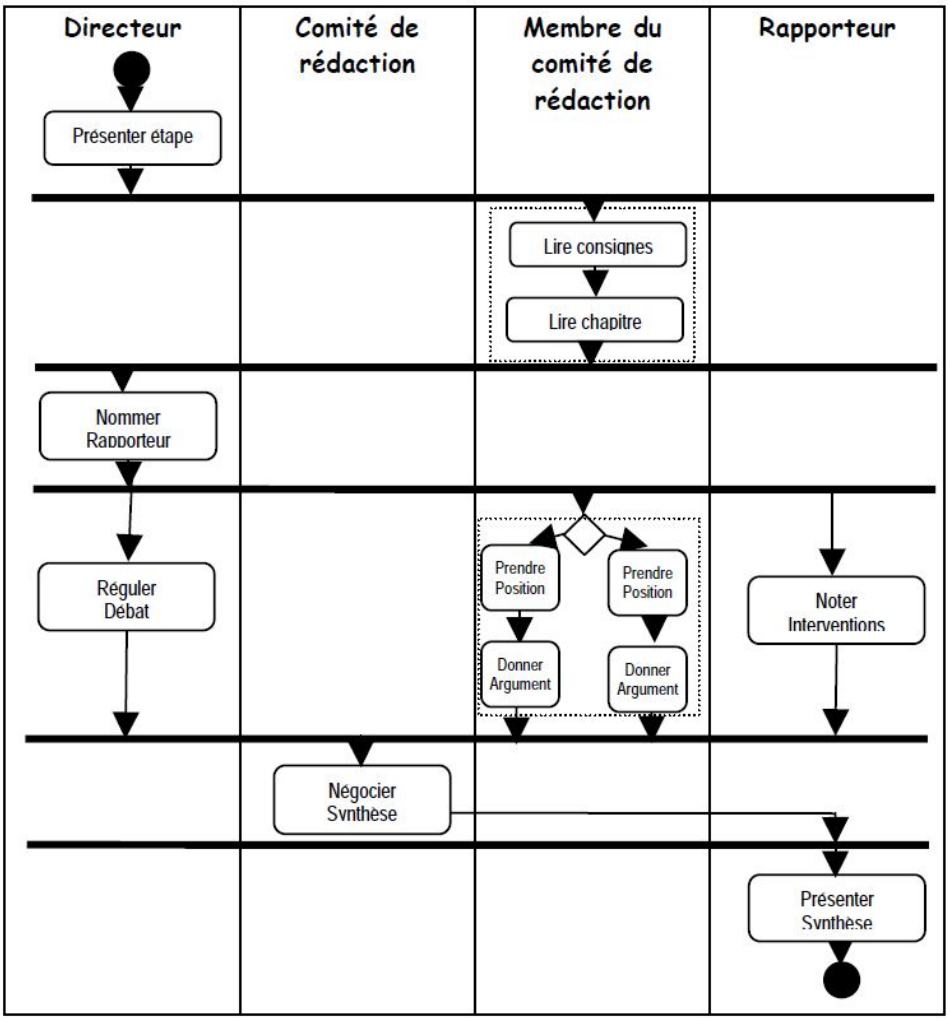


Figure 37. Diagramme d'activités UML du scénario (Ferraris et al., 2005, p.6)

Remarquons que le choix du langage UML est très souvent évoqué dès lors qu'il convient d'intégrer aux possibilités des langages EML (comme IMS-LD) d'autres objets conceptuels. C'est un langage de modélisation qui, en amont des langages de type EML, répond parfaitement *au besoin de modéliser des systèmes complexes* en général. Plus généralement, on notera ici que l'intérêt d'appliquer les langages de modélisation de systèmes complexes (tels que les langages UML) à la conception d'ENA se précise progressivement avec les évolutions techno-pédagogiques dont ils sont la cible. D'ailleurs, l'IMS Global Learning Consortium, le consortium le plus important en matière de spécification de contenus éducatifs, est une méthode de développement informatique associée ou dérivée du langage *Unified Modeling Language* (UML) (Henri, Compte et Charlier, 2007, p. 19).

Bien d'autres expériences témoignent d'ailleurs à la fois de la difficulté des modèles à résister aux vagues techno-pédagogiques que connait le monde du e-Learning et de l'usage de plus en plus fréquent de langages de modélisation propres aux systèmes complexes (tels UML) pour la conception d'ENA. Nous ne pouvons évidemment toutes les citer ici ; rappelons seulement à titre d'exemple que Lafourcade (2005) proposait *une approche par transformation de modèles* pour la conception d'EIAH et en particulier pour la conception de situations-problèmes sur des plates-formes de formation à distance. « L'étude des différents langages correspondant en partie à cet objectif a permis de mettre en évidence (i) *le manque actuel de modèle et de langage pour l'étape d'expression initiale des besoins*, ainsi que (ii) *la nécessité*

d'utiliser UML pour décrire des modèles abstraits (étape d'analyse) servant de base à la spécification formelle réalisée par les EML comme IMS-LD (étape de conception détaillée) (*Ibid.*, p. 215). Ce constat l'a alors conduit à adopter « un langage de modélisation graphique spécialisant UML pour la conception de situations problème en amont des langages de type EML : il couvre alors la phase de conception pour les étapes d'expression initiale des besoins, d'analyse et de conception (*Ibid.*, p. 215).

Par la suite, la modélisation des scénarios pédagogiques a fait l'objet de nouveaux développements que nous aborderons dans le détail au chapitre 6. Une des pistes envisagées (qui reste d'actualité) est de les intégrer progressivement à un modèle d'activités plus global représentant cette fois le dispositif de formation dans toutes ses dimensions, à savoir pédagogique, didactique, … et administrative. « Le scénario pédagogique conduit à la création du dispositif de formation dans la mesure où il prescrit certaines activités, propose certains usages de l'environnement et des médias, et génère des médiations particulières » (Henri, Compte et Charlier, 2007, p. 21).

4.4.2 Evolution vers des modèles d'ingénierie de formation

Au cours de la présentation des modèles d'ingénierie pédagogique, nous en étions restés à l'idée qu'une représentation (modèle) trop partielle de l'activité, focalisée par exemple sur les activités pédagogiques, souffrait d'un manque important de représentativité concernant les interactions fortes que ces dernières pouvaient entretenir avec d'autres formes d'activités, comme les activités de gestion administrative, technique ou de suivi de la formation. Intégrer l'ensemble de ces activités dans un modèle d'ENA plus global était alors perçu comme prioritaire ; le but étant de construire un modèle d'activités qui prend mieux en considération la spécificité de ces activités de gestion, même si le modèle venait à se complexifier. La gestion de cette complexité, qui fait précisément l'objet principal de cette note de synthèse, sera étudiée au chapitre 6. Le modèle (ou méta-modèle) à construire peut alors être considéré comme une expansion des modèles classiques de scénarisation pédagogique car il prend en compte, en les intégrant en son sein, d'autres activités que celles qui tournent traditionnellement autour de l'apprenant et son tuteur. L'impact de plus en plus important de différents facteurs connexes (gestion, gouvernance, …) sur l'activité de formation, est probablement à l'origine de cette évolution. Elle résulte probablement aussi d'un changement profond lié à la diversité et la massification toujours plus grande de la population fréquentant les formations ouvertes et à distance qui présage d'ailleurs d'autres évolutions avec ce que permettent désormais les MOOC… Cela implique donc la prise en compte d'activités connexes telles que la gestion des plans de formation, les parcours personnalisés de formation et les associations tuteurs et apprenants en fonction des profils de chacun (compétences, statuts et droits associés, ou de suivi des apprenants).

Dans cette perspective Oubahssi et Grandbastien (2007) ont proposé un diagramme de classe qui relie et prend en compte l'ensemble de ces activités (Figure 20). Nous l'avons détaillé au chapitre précédent. Ce modèle donne une vue globale de l'activité dans le processus de la formation ouverte et à distance. Cela les a conduits à définir un nouveau concept : l'« Unité de travail ».

4.5 DES MODELES DE MOOC A CONSTRUIRE

A leurs débuts, les MOOC français ont été présentés par le MENESR[111] « comme une expérimentation amenée à évoluer à l'usage selon les avis des utilisateurs ». C'est

[111] MENESR : Ministère (français) de l'Education Nationale de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.

précisément sur cet aspect expérimental et évolutif des MOOC qu'a porté un important travail de recherche que nous avons mené au cours des années 2015 et 2016 (Cf. Volume 2 : 2, 5, 18). Il visait à comprendre ce qui a motivé leur développement en France et la manière dont les modèles (principalement pédagogiques) ont évolué. La question de l'appropriation sociale de cette innovation techno-pédagogique fut donc centrale pour étudier cette évolution. Elle a d'abord été abordée du point de vue des représentations des professionnels de l'enseignement en ligne (Trestini, Rossini, 2015a) et fut ensuite complétée par celui des inscrits (Trestini, Coulibaly, Rossini, Chevry, 2016). Un article dans la revue RITPU[112] et un ouvrage publié chez ISTE Editions (références ci-dessus) s'en font l'écho.

De manière générale, les représentations conduisent les individus appartenant à un groupe social ou professionnel déterminé à prendre position sur des sujets d'actualité, des pratiques professionnelles, des événements sociaux, des innovations techniques…, et ce en rapport avec leur appartenance sociale, leurs contextes sociaux et professionnels. C'est le principe organisateur des représentations sociales développé par Doise (1986).

Lorsque le groupe est constitué à des fins professionnelles, les opinions et croyances qui se construisent en son sein relèvent de ce qu'il est convenu d'appeler des représentations professionnelles qui « sont des représentations sociales portant sur des objets appartenant à un milieu professionnel spécifique et partagées par les membres d'une même profession » (Piaser, 1999). Selon Abric (1994), il existe au sein des représentations sociales et par extension au sein des représentations professionnelles (cf. Bataille, 2000) des éléments centraux et des éléments périphériques. Les éléments centraux sont définis comme consensuels, générateurs et organisateurs du reste de la représentation et « relativement indépendants du contexte immédiat » (Abric, 1994, p. 28, cité par Lheureux, 2010, p. 316). Ils déterminent l'orientation générale que prend le rapport du groupe à l'objet, indépendamment et au-delà des contingences situationnelles. Par contraste, les éléments périphériques peuvent faire l'objet de plus fortes divergences interindividuelles et sont dépendants du contexte immédiat (*Ibid.*).

Nous ne pouvons ici détailler l'ensemble des résultats que cette expérimentation nous a permis de découvrir et renvoyons le lecteur intéressé aux publications qui en font état. Précisons qu'au début de l'aventure française[113], les éléments périphériques de ces représentions, qu'elles soient sociales ou plus spécifiquement professionnelles, montraient l'empressement des acteurs français impliqués dans les MOOC à faire évoluer au plus vite les modèles de MOOC qu'ils considéraient comme assez confus et globalement inadaptés au contexte socioculturel français[114]. Considérant que les modèles de MOOC français n'étaient qu'une réplique (copie conforme) des modèles nord-américains, pour le moins très différents les uns des autres (cMOOC, xMOOC, hybride, etc.), la difficulté principalement évoquée est qu'il n'existait pas *de représentation commune* sur laquelle il était possible de s'appuyer. Dans l'esprit des professionnels de l'enseignement en ligne, le modèle du MOOC français ne se serait donc construit qu'à travers l'image véhiculée sur les réseaux et sans volonté apparente de remaniement (22 % des professionnels interrogés pensaient que le modèle pédagogique sous-tendu par les MOOC était constitué d'un mélange de conceptions transmissives (36 %), connectivistes (45 %) et constructivistes (23 %) de l'apprentissage !).

---

[112] RITPU : Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire.

[113] Notre expérimentation a commencé au tout début de l'expérience française, c'est-à-dire du 30 janvier au 20 février 2014, période qui correspond grosso modo à la fin de la saison 2 d'ITyPA et au premier mois de fonctionnement de FUN.

[114] Même s'ils ont bien conscience que par essence, leur rayonnement se veut international.

De fait, il paraissait urgent que la France adopte d'abord un modèle pédagogique et économique de MOOC (autrement dit un modèle « théorique ») avant d'envisager la conceptualisation et la formalisation d'un modèle « objet » pour la conception et l'analyse de MOOC « made in France ». Nous observons actuellement qu'une forme d'appétence pour les xMOOC (versus cMOOC) se développe sur notre territoire et que la formalisation d'un modèle économique se précise avec l'institutionnalisation de cette innovation à travers la création d'un Groupement d'Intérêt Public dénommé « FUN MOOC » (Trestini et al. p. 45). Quant aux modèles « objets » qui focalisent notre attention, outre quelques préconisations au niveau de leur conception (MOOC « Créer son MOOC de A à Z » de Mathieu Cisel) et l'application de modèles propres à l'enseignement à distance, tout semble encore à construire. L'objet de nos recherches actuelles est précisément de contribuer à combler ce vide.

4.6 CONCLUSION SUR LES CONDITIONS DE RESISTANCE DES MODELES D'ENVIRONNEMENT NUMERIQUES D'APPRENTISSAGE

En prenant tour à tour un rôle de concepteur ou d'analyste, ces quelques exemples nous ont permis d'illustrer la manière dont se modifient les modèles pour répondre à un changement de contexte sociotechnique et en particulier lorsque s'y introduisent des innovations techno-pédagogiques. Nous étudierons par la suite d'autres cas de figure, notamment lorsque la décision de changer de modèle ou de le faire évoluer sera due à des changements systémiques rapides et/ou s'étendant à large échelle. C'est le cas par exemple des MOOC que nous avons évoqués et qui seront repris et développés en détail par la suite. C'est aussi le cas des phénomènes de rationalisation de l'enseignement à distance ou plus largement de son industrialisation (Trestini, 2014) dont nous avons déjà indiqué les effets sur la modélisation dont nous aurons également l'occasion de reparler.

Les différentes adaptations constatées dans les sections précédentes sont nées de différents besoins. Il a ainsi pu arriver qu'un concept nécessaire à l'étude (conflit instrumental par exemple) n'ait pu être étudié du fait de sa difficile accessibilité (lisibilité) à travers le modèle utilisé. A d'autres occasions, il nous a été difficile de représenter des communautés d'acteurs très différentes les unes des autres (dans un ENT scolaire par exemple : enfant, parents, enseignants) et agissant ensemble au cœur d'un ENA. Par ailleurs, le modèle sur lequel nous nous basions devait être compatible avec différents points de vue issus de différentes théories développées autour de l'activité instrumentée (genèse instrumentale, socioconstructivisme, etc.), soit une autre source de cette évolution.

Concernant le modèle d'analyse d'Engeström, toutes ces transformations se sont concrètement traduites par le développement des pôles du modèle en grappes de sous-systèmes ; parfois même en clonant le modèle de base plusieurs fois, parallèlement à lui-même, en autant de partitions qu'il existe de communautés.

Les innovations pédagogiques, avec notamment l'arrivée des pédagogies actives dans le e-Learning, ont probablement été la cause principale des nombreuses inflexions des modèles. Ces derniers, d'abord fondés sur la mise à disposition de ressources, ont ensuite été remplacés par des modèles d'activités pédagogiques pour ensuite englober l'ensemble des activités comme celles de gestion par exemple. Ainsi, nous sommes assez rapidement passés d'un modèle de scénarisation des apprentissages à un modèle de dispositif de formation intégrant toutes les activités qui y règnent.

Il est évident que nous aurions aussi pu évoquer ici des changements de contexte plus actuels qui sont par exemple à l'origine des modèles adaptatifs, dont les parcours pédagogiques changent dynamiquement, en réponse aux attentes de chaque apprenant (Najlaa Zniber, 2012 ; Blanco *et al.*, 2013). Mais les travaux actuels visent à quelques détails près les mêmes

objectifs que ceux que s'étaient fixés les équipes de chercheurs que nous avons citées, c'est pourquoi nous n'avons pas voulu en ajouter davantage. Nous aurions aussi pu parler des travaux sur la modélisation des MOOC qui visent à soutenir un *apprentissage personnalisé* comme ceux de Henning et al. (2014) ou ceux en cours conduits par l'équipe canadienne (Bejaoui, Paquette, Basque, Henri, 2015) dont nous avons récemment entendu un compte-rendu au cours d'un séminaire du laboratoire STEF à l'ENS de Cachan en juin 2016. Nous y reviendrons quand nous décrirons plus en détail le contexte dans lequel les MOOC se sont implantés en France et dans le monde. Rappelons que ces récents travaux « sont fondés sur les principes de la pédagogie ouverte et de l'autogestion de l'apprentissage et sur les méthodes d'ingénierie pédagogique (en particulier, la méthode d'ingénierie des systèmes d'apprentissage MISA)». Ces travaux visent en particulier la *personnalisation de l'apprentissage* dans un MOOC.

Nous reviendrons un peu plus loin sur certains de ces travaux mais le but visé dans cette partie était surtout de montrer qu'un changement de contexte sociotechnique, comme la venue d'une innovation techno-pédagogique par exemple, peut exercer une pression capable de modifier profondément la structure du modèle en place. Avant d'inscrire l'ENA dans le paradigme de la modélisation systémique de la complexité, considérons donc que cet objectif est atteint.

5. L'environnement numérique d'apprentissage inscrit dans le paradigme de la modélisation systémique de la complexité

Nous venons de mettre en évidence la fragilité des modèles actuels lorsque les conditions extérieures viennent à changer, en particulier lorsque ces modèles sont censés représenter des environnements ayant subi des transformations techno-pédagogiques importantes. Avant de plaider en faveur de l'application de la théorie des systèmes complexes à la modélisation d'ENA de nouvelle génération (§ 5.2), explicitons d'abord les concepts fondateurs de cette théorie (§ 5.1). Il nous sera plus facile par la suite d'y faire référence pour argumenter ce choix.

5.1 THEORIE DES SYSTEMES COMPLEXES ET CADRE THEORIQUE DE REFERENCE

Après la théorie de la relativité et de la physique quantique, la théorie des systèmes complexes (et du Chaos) est probablement la troisième révolution scientifique majeure du XXe siècle. Elle bouleverse notre façon de raisonner, de percevoir le monde et de prédire les effets de tel ou tel événement sur l'évolution du système, autrement dit la manière dont on fait des sciences. On qualifie d'ailleurs ces dernières de *sciences des systèmes* ou *sciences de la complexité*. Ces nouvelles sciences « prennent leur statut scientifique au sein du paradigme des épistémologies constructivistes ; alors que les sciences normales se réfèrent habituellement plus volontiers au paradigme des épistémologies positivistes » (Le Moigne, 1999, p.22).

Nombreuses sont les disciplines qui, d'une manière ou d'une autre, font référence au paradigme constructiviste. Parmi elles, et au-delà des sciences des systèmes et de la complexité, citons les sciences de l'éducation et celles de l'information et de la communication (SIC). Pour ces dernières, « les paradigmes mis en place peuvent être soit communs aux sciences sociales, soit spécifiques aux SIC, tels la scientificité de la démarche, le positionnement de l'homme au centre de la réflexion, le caractère systémique des objets analysés ou la dimension constructiviste de la réalité, pour n'en citer que quelques-uns » (Viallon, 2013, p. 4). Pour les sciences de l'éducation (SE), le paradigme constructiviste peut aussi servir de fondement à différentes théories de l'apprentissage ou du développement des connaissances, et dont peuvent découler divers modèles d'intervention pédagogiques.

> « Il est notamment issu de la perspective doublement épistémologique et psychologique de Piaget et de la perspective historico-critique de Bachelard à laquelle la didactique a emprunté le concept d'obstacle épistémologique. Ces perspectives épistémologiques prennent le contre-pied du positivisme en insistant sur le rôle du sujet dans l'élaboration de la connaissance et sur l'impossibilité de dissocier les faits des modèles d'interprétation. Diverses théories de l'apprentissage peuvent s'inscrite dans un paradigme constructiviste tout en proposant des modèles explicatifs variés pour rendre compte des processus intervenant dans l'apprentissage : processus mentaux de traitement des informations dans la perspective de la psychologie cognitive ; processus d'assimilation, d'accommodation et d'équilibration, dans la perspective piagétienne ; processus d'intériorisation graduelle des mécanismes régulateurs de l'action et de la pensée, dans la perspective socioculturelle de Vygotsky, etc. » (Legendre, 2004, p. 70).

Le point commun entre ces différentes « visons constructivistes » repose sur l'idée que la connaissance des phénomènes résulte d'une construction effectuée par le sujet. L'image qu'à ce dernier de la réalité, ou les notions qui structurent cette image, sont « le produit de l'esprit humain en interaction avec cette réalité, et non le reflet exact de la réalité elle-même »[115].

[115] Constructivisme (épistémologie) (2016, mise à jour 20 mars). Dans *Wikipédia*. Récupéré de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Constructivisme_(%C3%A9pist%C3%A9mologie)

Ce cadre théorique général étant précisé, revenons à présent sur les sciences des systèmes et de la complexité dans lequel elles s'inscrivent avant d'aborder plus spécifiquement le paradigme de la modélisation systémique de la complexité.

Pour Aurore Cambien, (2007, p. 9), auteure d'un impressionnant rapport d'étude du Certu[116] sur la manière d'appréhender la complexité, « la naissance de la pensée systémique est intrinsèquement liée à l'émergence au cours du XXe siècle d'une réflexion approfondie autour de la notion de complexité. La prise de conscience de la complexité du monde va de pair avec celle des insuffisances de la pensée dite classique à offrir les moyens nécessaires à l'appréhension, à la compréhension de la complexité d'une part, à l'action sur cette complexité d'autre part ».

5.1.1 Définition d'un système complexe

Un système complexe est avant tout un système. De fait, il est constitué d'un ensemble d'éléments en interaction entre eux et avec l'environnement dans le but de produire les services correspondants à sa finalité. Au-delà de cette définition globalement systémique, les systèmes complexes sont aussi, par essence, « des systèmes ouverts et hétérogènes dans lesquels les interactions sont non linéaires et dont le comportement global ne peut être obtenu par simple composition des comportements individuels » (Aniorté, Cariou et Gouardères, 2006, p. 3).

La plupart des propriétés formelles qui caractérisent un système (totalité, rétroaction, équifinalité, etc.) ont déjà été définies et étudiées au paragraphe 2.2 lorsque nous discutions de l'intérêt de considérer un ENA comme un système d'activité instrumentée. Cela nous a du reste donné l'occasion de revenir sur la « Théorie générale des systèmes » formalisée après la seconde guerre mondiale par Von Bertalanffy (1956). Bien que ces propriétés soient toujours valables et actives dans les systèmes complexes, nous ne reviendrons évidemment pas sur leur définition. Dans cette partie, nous discuterons plutôt du caractère exclusivement *complexe* du système et non plus des caractéristiques du système en général.

Le mot complexe vient du latin *complexus* qui signifie « ce qui est tissé ensemble » et de *complecti* « ce qui contient des éléments différents » (Fortin, 2005 p.16). L'humain est rarement en capacité de comprendre spontanément la complexité et il lui faut la modéliser et la simuler pour tenter de la cerner. Edgar Morin disait que la complexité existe quand notre niveau de connaissance ne nous permet pas d'apprivoiser l'ensemble des informations.

« Un système complexe est, par définition, un système construit par l'observateur qui s'y intéresse. Celui-ci postule la complexité du phénomène sans pour autant s'astreindre à croire à l'existence naturelle d'une telle propriété dans la nature ou dans la réalité. La complexité, qui implique toujours quelque forme d'imprévisibilité, ne peut aisément être tenue pour déterministe. De façon générale, en revanche, la complexité est représentée par un enchevêtrement d'interactions en inter-relations » (Le Moigne, 1999, p. 24).

Edgar Morin (2008), dans « La Méthode », nous aide à comprendre la complexité ; « il nous en dévoile les principes, les exigences, les enjeux, les difficultés. L'éminent penseur montre que la connaissance de la complexité commande une nouvelle approche et une réforme de la pensée » (*Ibid.*, 4e de couverture). On peut en effet s'attendre, après les travaux d'Atlan (1979) et Morin (2008), complétant ceux de Varela (1979) et Von Foerster (1960), que soient mieux prises en comptes les avancées scientifiques dans le domaine de la conception et de l'analyse des systèmes complexes (Cf. Volume 2 : 3).

[116] Centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.

Conscient qu'une définition unanimement acceptée de la nature complexe d'un système reste encore à formaliser, nous allons l'étudier à partir de quatre caractéristiques qui font généralement consensus[117] : (i) la nature de ses constituants (leur type, leur structure interne), (ii) son aspect ouvert et chaotique (influences extérieures à différentes échelles), (iii) ses caractéristiques auto-organisatrices et homéostatiques (résilience) dominée par les couplages et les rétroactions (interactions non linéaires, souvent de différents types) et enfin (iv) sa capacité d'évolution vers de nouveaux systèmes *à propriétés émergentes* et imprévues (Mitchell, 2009). Pour terminer, nous aborderons l'épistémologie dans laquelle s'inscrivent ces systèmes avant de distinguer la complexité algorithmique de la complexité naturelle.

5.1.1.1 Variété des composants et des liaisons

Les constituants d'un système complexe sont de taille variée, de nature hétérogène (individus, artefacts, symboles…) et incertaine (évolution possible dans le temps) et possèdent une structure interne. « Un système complexe ne se comporte pas comme un simple agrégat d'éléments indépendants, il constitue un tout cohérent et indivisible » (Tardieu *et al.*, 1986, p.33). Cette propriété formelle renvoie au concept de *totalité* que nous avons évoqué au § 2.2. « Les deux notions qui caractérisent la complexité *sont la variété des éléments* et *l'interaction entre ces éléments*. Un système complexe est constitué par une grande variété de composants organisés en niveaux arborescents. Les différents niveaux et composants sont reliés entre eux par une grande variété de liaisons » (Ibid., p. 33).

Et c'est bien la variété des interactions entre ses constituants et la variété des constituants eux-mêmes qui sont à l'origine de l'évolution globale des systèmes complexes.

5.1.1.2 Un système complexe n'est pas un système compliqué

Un système complexe est de nature imprévisible. Il ne permet donc pas de prédire, *par le calcul*, aussi poussé soit-il, l'issue des processus ou phénomènes mis en jeu, même pas de manière probabiliste [118]. Mais *complexe* ne signifie pas *compliqué*. « Nous sommes par exemple capables de comprendre et de prévoir quand et pourquoi un moteur de voiture tombe en panne alors que nous sommes incapables de comprendre et de prévoir exactement l'ensemble des facteurs qui influencent un changement ou un mouvement sociétal (exemple pour une révolution) » (Béguin, 2013). Quand le système est compliqué, nous sommes en capacité de trouver une ou des solution(s) car un système dit « compliqué » est constitué d'un ensemble de choses simples. Il suffit d'un peu de rigueur, de connaissance et de temps pour comprendre son fonctionnement. La méthode générale consiste d'abord à décomposer et isoler chacun des éléments (en composants simples ou en notions simples) pour être ensuite capable de les réassembler. « Le fonctionnement mécanique d'une horloge ou d'un moteur de voiture, par exemple, peut nous sembler compliqué mais sommes capables d'expliquer clairement comment ça marche car nous savons quelle incidence a un composant mécanique ou électronique sur l'autre » (*Ibid.*)

Pour illustrer la différence entre un système complexe et un système compliqué, Snowden (2002, p. 13) fait pertinemment remarquer que « lorsque des rumeurs de réorganisation apparaissent dans une organisation, le système complexe humain commence à muter de façon

---

[117] Discours d'ouverture du Congrès International sur les systèmes Complexes (International Conference on Complex Systems ICCS'12) organisé en hommage au défunt Professeur Lorenzo Ferrer Figueras de l'Université de Valence, Espagne. Récupéré du site : http://aes.ues-eus.eu/aes2012/allocution_ICCS12.pdf

[118] Si cette prédiction est impossible, *par le calcul*, elle le devient de manière probabiliste avec d'autres outils tels que la ceux de la modélisation systémique de la complexité. Nous le verrons dans le paragraphe qui suit.

imprévisible et des tendances se dessinent en prévision du changement. À l'opposé, lorsque l'on s'approche d'un avion, une boîte à outil à la main, rien ne change ! »[119].

5.1.1.3 Système ouvert : entre complexité et chao

Le système complexe est aussi un système « ouvert », c'est-à-dire en relation permanente avec son environnement. De fait, « il subit des perturbations externes qui sont, *a priori*, imprévisibles et inanalysables. Ces perturbations, qui se produisent dans l'environnement, provoquent des adaptations du système qui le ramènent à un état stationnaire » (*Ibid.*, p.32).

Pour celui qui l'étudie, un système fermé est plus prévisible qu'un système ouvert dans le sens où étant totalement isolé des influences externes, il ne sera soumis qu'à des modifications internes et se retrouvera dans un certain nombre d'états définis par ses conditions initiales.

Et si ces dernières sont invariables quelque soient le nombre d'expériences, autrement dit le nombre de fois que l'on observe le comportement du système, de sa phase initiale à sa phase finale (ce qui est très difficilement réalisable), il se comportera comme un automate qui déroule un programme connu. En ce sens, il ne peut être considéré comme complexe, aussi compliqué que ce programme puisse d'ailleurs être ! La connaissance des différents états intermédiaires étant suffisante pour définir le système, son évolution et sa finalité en deviennent prévisibles et prédictibles.

Mais comme nous le verrons plus loin, c'est la difficulté à garantir *l'invariance des conditions initiales appliquées à un système fermé* qui en fait un système ouvert et donc un système *potentiellement* complexe (car le caractère ouvert est une condition nécessaire mais non suffisante pour qu'un système soit complexe).

Les systèmes complexes sont partout ; la prédiction de leur comportement devient *quasi* obsessionnelle chez l'être humain. L'homme veut savoir où il va et à quoi il doit s'attendre. Prévoir la météo à très long terme par exemple, décrire la trajectoire d'une feuille déposée sur un cours d'eau, tenter de réguler la pêche dans le monde, connaître l'intérêt d'introduire des tablettes numériques au collège, prédire ce que deviendront les MOOC dans le futur ne sont que quelques exemples de recherche prospectives (ou prédictives) s'appliquant à des systèmes complexes. Et si la modélisation systémique de la complexité est assurément capable de produire des résultats impressionnants, elle n'est malheureusement pas à l'abri d'erreurs. Seule la probabilité qu'un événement apparaisse ou non peut être fournie avec certitude. Les prédictions sont à cet égard incertaines.

- *Sensibilité aux conditions initiales*

En son temps, Edward Lorents soulevait la difficulté de telles prévisions lorsqu'il cherchait à prédire des événements météorologiques à long terme. Grâce à des systèmes informatiques, et fort de sa connaissance des lois déterministes de Galilée et de Newton (également dites *prévisionnistes*) selon lesquelles les conditions initiales permettraient de déterminer l'état futur d'un système, il s'était donné pour objectif de prédire la météo à partir de simulations informatiques appliquées à *un modèle* mathématique.

En 1963, ses travaux ont révélé le fait que des variations infimes entre deux situations initiales pouvaient conduire à des situations finales sans rapport entre elles.

[119] Traduction de l'auteur.

Il affirma ainsi qu'il n'était pas envisageable de prévoir correctement les conditions météorologiques à très long terme (par exemple un an) parce qu'une incertitude de $1/10^6$ lors de la saisie des données de la situation initiale pouvait conduire à une prévision totalement erronée.

L' « effet papillon » est une métaphore célèbre qui illustre bien ce constat. S'inscrivant dans la « théorie du chaos », il vise à décrire le phénomène fondamental de sensibilité aux conditions initiales. Cette métaphore est parfois simplement exprimée à l'aide d'une question : « Un simple battement d'ailes de papillon (au Brésil) peut-il déclencher une tornade (au Japon) à l'autre bout du monde ? ». Cette sensibilité aux conditions initiales pourrait se traduire plus grossièrement par : « on a beau être au mieux des conditions initiales, ça partira de toute façon dans tous les sens ».

- *Système complexe ou chaotique ?*

La sensibilité aux conditions initiales n'est pas la seule cause responsable de la difficulté à prévoir le comportement d'un système complexe. Dans un système ouvert, « les influences réciproques entre l'activité du système, son environnement et ses finalités, modifient continuellement sa structure. Les « bruits aléatoires, issus de l'environnement ou des constituants du système, sont actifs sur les relations qui lient ces derniers. Ces événements difficilement contrôlables (caractères aléatoire du bruit) sont autant de perturbations qui contribuent à modifier le système. Qu'ils soient internes ou externes, ils le modifient en le faisant évoluer vers des formes nouvelles et le plus souvent inconnues. Que ces systèmes soient sociaux ou matériel, naturel ou artificiels, il est très difficile de prédire leur comportement et leur évolution car le monde dans lequel nous vivons est par nature principalement chaotique et il ne nous permet que très rarement d'établir les équations des systèmes que nous voulons étudier.

Une autre cause responsable de la difficulté à prévoir le comportement d'un système complexe est donc liée à la méconnaissance des règles qui nous disent comment le système va changer, autrement dit à l'impossibilité de modéliser ce système par des équations prédictives solvables.

Mais alors, à quoi bon étudier un système complexe si l'on ne peut en aucune manière prédire son comportement futur ? La réponse se trouve dans le titre de l'ouvrage d'Henri Atlan (1979) : « Entre le cristal et la fumée ». Atlan, (1979, p.5) tente par cette métaphore de situer la complexité entre ces deux extrêmes : le modèle parfaitement connu du cristal et celui imprévisible de la fumée.

- *Complexité algorithmique et complexité naturelle*

On peut distinguer la *complexité algorithmique* de la *complexité naturelle*. La première est celle que l'on peut traiter avec un ordinateur, un programme ou un algorithme. Le but à atteindre est connu, aussi complexe soit-il. La finalité est précisée et détermine la valeur de la procédure. La complexité naturelle est inhérente aux « systèmes non totalement maîtrisés par l'homme parce que non construits par lui » (Atlan, 1979, p.5) : systèmes biologiques comme la mémoire, les systèmes sociaux, etc. Cette distinction est fondamentale dans la mesure où la théorie de l'auto-organisation que nous allons évoquer ne trouve sa justification que dans des systèmes à complexité naturelle. Ces derniers sont un mélange de savoir et d'ignorance. Ils constituent une sorte de « compromis entre deux extrêmes : un ordre répétitif parfaitement symétrique dont les cristaux sont les modèles physiques les plus classiques et une variété infiniment complexe et imprévisible dans les détails comme celle des formes évanescentes de la fumée » (Ibid. p.5). Simon (1974) montrait déjà en 1969 la différence d'intelligibilité entre les *objets naturels* et *les objets artificiels*. Les objets naturels sont selon lui analysés avec

l'hypothèse que « la complexité est tissée de simplicité ; la complexité correctement analysée est seulement un masque dissimulant la simplicité » ; il conviendrait donc, toujours selon lui, de trouver la forme ordonnée qui se cache dans l'apparent désordre. La théorie des fractales, introduite en 1975 par Benoît Mandelbrot, en serait une récente illustration. « L'Institut de Santa Fe[120] sera créé en 1984 pour tenter d'étudier les conditions par lesquelles c'est parfois l'ordre qui émerge du chaos, ce qui constitue très exactement le contraire d'un effet papillon »[121].

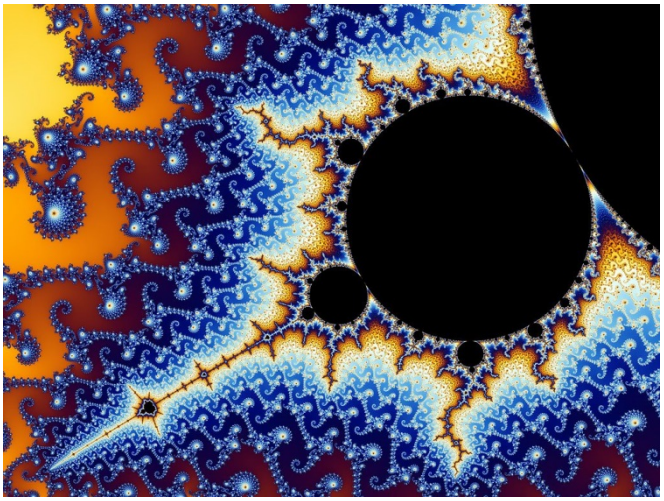


Figure 38. Zoom sur une représentation en couleur de l'ensemble de Mandelbrot

Revenons un court instant sur les fondements de *la théorie de l'information* (Shannon, 1948) pour approfondir cette question.

D'après cette théorie, tout processus de communication peut être représenté par un canal de communication entre un émetteur et un récepteur dans lequel transite un message. Ce dernier peut être sujet à des perturbations extérieures qui génèrent des erreurs, lesquelles modifient le message. On appelle « bruit » une perturbation qui modifie un message entre son émission et sa réception. Par exemple, la lettre ou le symbole d'un alphabet composant un message bruyant, est reçu(e) avec une *certaine probabilité* et non avec certitude.

Ce bruit dans la voie de communication a un effet négatif dans la formalisation de la quantité d'information développée par Shannon (1948). Mais au lieu de considérer la transmission de l'information entre l'émetteur et le récepteur, Atlan (1979, p. 46) nous invite à observer la quantité d'information totale contenue dans le système (S) englobant cette voie de transmission. Dans ce cas, la voie de transmission considérée n'est plus la même ; elle s'établit cette fois entre le système et un observateur extérieur.

[120] http://www.santafe.edu/

[121] Effet Papillon. (2016, mis à jour 31 août). Dans *Wikipédia*. Récupéré de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_papillon#cite_note-6

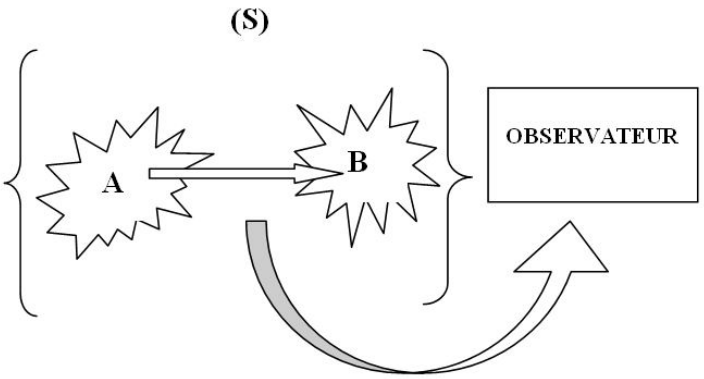


Figure 39. Message transmis dans une voie qui part du système et aboutit à l'observateur.

Vue sous cet angle, l'ambiguïté introduite par des facteurs de bruits sur une voie élémentaire (celle considérée par Shannon) peut être génératrice d'information pour l'observateur.

Intuitivement, nous percevons que la notion de complexité d'un système est intimement liée à celle de *quantité d'information* définie par Shannon.

« Plus un système est composé d'un grand nombre d'élément différents, plus sa quantité d'information est grande et l'improbabilité de le constituer *tel qu'il est* en assemblant au hasard ses constituants. C'est pourquoi cette grandeur a pu être proposée comme une mesure de la complexité d'un système, en ce qu'elle est une mesure du degré de variété des éléments qui le constituent » (Atlan, 1979, p. 45).

La complexité est souvent associée à la nouveauté (forte quantité d'information) alors que le trivial l'est à la répétition (faible quantité d'information). « La quantité d'information d'un système, composé de parties, est alors définie à partir des probabilités que l'on peut affecter à chaque sorte de composants sur un ensemble de systèmes supposés statistiquement homogènes les uns des autres ; ou encore à partir de l'ensemble des combinaisons qu'il est possible de réaliser avec ses composants qui constitue l'ensemble des états possibles du système » (Ibid., p. 45).

Les erreurs que le bruit provoque introduisent une nouvelle variabilité au sein du système. Ainsi l'accroissement du degré de variété (ou degré de différenciation ou encore de complexité) du système, suite à une perturbation *aléatoire* provenant de son environnement, est mesuré par l'augmentation de la quantité d'information shannonienne qu'il contient.

Henri Atlan va *transposer* cette augmentation de la quantité d'information shannonienne contenue dans un système bruyant à la mesure de la complexité d'un système organisé, tel un organisme biologique ou une organisation sociale. Cette transposition amène l'auteur à concevoir « l'évolution des systèmes organisés ou le phénomène d'auto-organisation comme un processus d'augmentation de complexité à la fois structurale et fonctionnelle résultant d'une succession de désorganisations rattrapées, suivies chaque fois d'un rétablissement à un niveau de variété plus grande et de redondance plus faible » (Ibid. p.49).

L'augmentation de cette complexité « peut être utilisée pour la réalisation de performances plus grandes, notamment en ce qui concerne les possibilités d'adaptation à des situations nouvelles, grâce à une plus grande variété des réponses à des stimuli diversifiés et aléatoire de l'environnement » (Ibid., p. 49).

De fait, un système très ordonné, comme un système à complexité algorithmique par exemple, sera totalement prédictible et de ce fait pauvre quant à son contenu en informations (quantité

d'information au sens shannonien du terme). Dans le cas contraire, s'il est totalement erratique et aléatoire, sa prédictibilité sera nulle. Il n'est donc pas complexe, mais chaotique.

« C'est lorsque le contenu en informations est intermédiaire, à prédictibilité et à probabilité moyennes, que l'on trouve les systèmes complexes » (Waldvogel, 2012, p. 1023).

C'est dans cet espace borné qu'il est possible de prédire d'éventuels phénomènes émergents avec évidemment un certain degré d'incertitude. D'autres définitions de systèmes complexes ou de concepts associés, provenant essentiellement de la thermodynamique, existent également et peuvent être utilisées selon les circonstances, comme nous le verrons plus loin.

5.1.1.4 Rétroaction, auto-organisation et homéostasie

- *Rétroaction*

Une caractéristique fondamentale d'un système complexe (déjà étudié plus haut) est sa causalité circulaire. En termes plus explicites, les comportements individuels ou collectifs des constituants du système rétroagissent sur leurs propres comportements. Ces éléments vont individuellement ou collectivement modifier leur environnement, qui en retour va les contraindre et modifier leurs *états* ou *comportements* possibles.

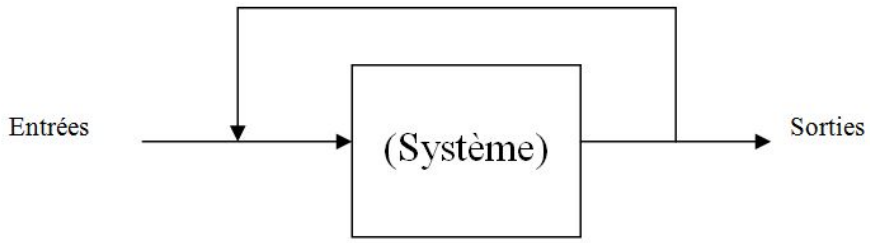


Figure 40. Processus de rétroaction de l'effet sur la cause.

Ce processus circulaire appliqué aux systèmes, qui s'oppose au modèle linéaire et unidirectionnel de Shannon, se trouve dans les fondements de la *théorie sociale* de la communication. En élargissant la pensée cybernétique à l'ensemble des systèmes vivants, dont nos apprenants font partie, Bateson (1977) utilise ce concept de rétroaction pour expliquer un ensemble très vaste de phénomènes, tels le langage, l'évolution biologique, la schizophrénie,… mais aussi l'apprentissage. Il traite ainsi de l'apprentissage comme d'un phénomène de rétroaction : « le changement peut définir l'apprentissage » dit-il. Pour lui, « le mot « apprentissage » indique indubitablement un changement, d'une sorte ou d'une autre » (Bateson, 1977, p. 133).

Ce qui est primordial dans un système complexe n'est donc pas tant le nombre de facteurs ou de dimensions (paramètres, variables) liés aux constituants du système, mais le fait que « chacun d'entre eux influence indirectement les autres, qui eux-mêmes l'influencent en retour, faisant du comportement du système une globalité irréductible »[122]. Autrement dit, dans un système complexe, connaître les propriétés et le comportement des éléments isolés est utile mais pas suffisant pour prédire le comportement global du système. Pour prévoir ce comportement, il est nécessaire de les prendre tous en compte, ce qui revient généralement à effectuer une simulation du système étudié, simulation que nous reprendrons en détail au paragraphe 7.2.

[122]Système complexe. (2016, mise à jour 8 juin). Dans *Wikipédia*. Récupéré de https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_complexe

- *Auto-organisation*

Nous venons d'expliquer qu'un système peut être sujet à des perturbations extérieures qui génèrent des erreurs, lesquelles le modifient. On appelle « bruit » cette perturbation. Lorsque le système est atteint par un bruit provenant de l'environnement, celui-ci peut être à l'origine d'une augmentation de la complexité du système. Dans un premier temps, le système se désorganise, puis se rétablit en augmentant son niveau de variété. En tant que système, il peut s'enrichir de cette désorganisation. L'augmentation de la complexité d'un système peut donc produire un effet positif sur lui. « Cette augmentation de la complexité peut être utilisée pour la réalisation de performances plus grandes, notamment en ce qui concerne les possibilités d'adaptation à des situations nouvelles, grâce à une plus grande variété des réponses possibles à des stimuli diversifiés et aléatoires de l'environnement » (Atlan, 1979, p. 49). En conséquence, lorsqu'un bruit aléatoire en provenance de l'environnement atteint le système, ce dernier l'intègre pour se reconstruire de façon nouvelle. Ceci est vrai quel que soit le système, à la condition qu'il soit à complexité naturelle (système cognitif, mémoire, ENA, etc.). Si ce mécanisme nous est inconnu dans le détail, c'est celui-là même qui permet au système de faire son propre apprentissage en voyant augmenter son degré de complexité (ou de variété). C'est aussi la raison pour laquelle ce bruit est dit organisationnel.

- *Homéostasie*

Au paragraphe 2.2.3, nous définissions l'*homéostasie* comme *une résistance au changement* propre à tout système complexe. Celle-ci peut maintenant s'expliquer par ses capacités auto-organisatrices.

Les systèmes sociaux tels que les systèmes écologiques, biologiques, et *a fortiori* éducatifs sont des systèmes particulièrement homéostatiques. « Ils s'opposent au changement par tous les moyens à leur disposition. Si le système ne parvient pas à rétablir ses équilibres, il entre alors dans un mode de fonctionnement avec des contraintes parfois plus draconiennes que les précédentes, et pouvant conduire, si les perturbations se poursuivent, à la destruction de l'ensemble » (De Ronay, 1975, p. 129).

Atlan (1979, p. 47) montre formellement par quels mécanismes ces cas critiques peuvent survenir. Après un assez long développement, il conclut que nous avons affaire à deux sortes d'effets de l'ambiguïté produite par le bruit sur l'organisation générale d'un système. Il les appelle « ambiguïté destructive » et « ambiguïté-autonomie », la première devant être comptée négativement, la seconde positivement. Une condition nécessaire pour que les deux coexistent serait ce que Von Neumann (1966) appelait un « système extrêmement hautement compliqué » et qu'Edgar Morin (1973) a appelé par la suite, de façon probablement plus correcte, « système hypercomplexe » (Ibid. p.48).

Entre ces deux extrêmes, « l'homéostasie apparaît comme une condition essentielle de stabilité et donc de survie des systèmes complexes. Les systèmes homéostatiques sont ultra-stables : toute leur organisation interne, structurelle, fonctionnelle contribue au maintien de cette même organisation » (De Ronay, 1975, p. 129).

5.1.1.5 Existence de propriétés émergentes

Les perpétuelles réorganisations du système produisent parfois des comportements inattendus et imprévisibles ; « *anti-intuitif* selon l'expression de Jay Forrester ou contre-variant : lorsqu'à la suite d'une action précise, on s'attendait à une réaction déterminée, c'est un résultat tout à fait inattendu et souvent contraire qui est obtenu. Tels sont les jeux de l'interdépendance et de l'homéostasie. Les hommes politiques, les chefs d'entreprise ou les sociologues n'en connaissent que trop les effets » (De Ronay, 1975, p. 129).

S'il est une chose qui caractérise bien les systèmes complexes, c'est assurément l'existence de *propriétés émergentes*, que ce soit dans le monde vivant ou dans le monde inerte. Ces phénomènes, dits également *émergents*, sont bien connus dans le monde de la matière. Les particules élémentaires par exemple (quarks et autres), se joignent pour produire une nouvelle entité avec des propriétés nouvelles : l'atome. Qui aurait par exemple pu prédire qu'à partir de molécules de gaz, telles que H2 (hydrogène) et O2 (oxygène), nous aurions pu produire une substance liquide avec des caractéristiques complétement nouvelles comme l'eau ? En outre, ces molécules d'eau se cristallisant dans le froid pour produire un nouveau composé imprévisible, les cristaux de glace…

Le premier constat que l'on peut tirer de ces phénomènes est la difficulté à prédire le comportement global du système à partir de la simple connaissance des propriétés et du comportement des éléments isolés.

Un système complexe présente en effet des propriétés nouvelles et supérieures à celles que l'on aurait obtenues en faisant la somme des propriétés de ses constituants.

Retenons aussi de ces exemples que les systèmes complexes ne sont pas linéaires « puisque la nouvelle fonction ou le nouvel état n'apparaît pas progressivement, mais brusquement : l'eau gèle, la vie apparaît » (Waldvogel, Balavoine, Perone, Schusselé-Fillietaz, 2012, p. 1022). Bien d'autres phénomènes émergents pourraient être cités au-delà des phénomènes issus du monde de la matière. Nous pensons par exemple à la conscience ou à l'âme humaine… N'émergent-elles pas d'un « simple » agrégat organique ? « Les phénomènes émergents les plus manifestes qui se sont exprimés au cours de l'évolution de l'univers physique et social sont indéniablement l'apparition de la vie, l'irruption de la pensée et la genèse d'institutions (langage, monnaie). On peut cependant observer une variété de phénomènes émergents d'allure plus modeste comme les turbulences dans les fluides, les amas cellulaires, les colonies d'insectes ou les prix des biens. […] Ces phénomènes émergents prennent des formes diverses, allant de simples combinaisons des propriétés des entités microscopiques ou des relations entre ces entités à l'apparition de caractéristiques ou d'entités macroscopiques originales » (Walliser, 2006, p. 2). Ainsi, les phénomènes émergents peuvent se produire « à travers toutes les sciences naturelles, telles que la physique, la chimie, la biologie, mais également au niveau de celles s'occupant de l'environnement, du climat, de la société, des systèmes de distribution d'énergie et de l'internet » (Waldvogel *et al.*, p. 1022).

Il devient alors possible d'imaginer que les interactions sociales au sein d'environnements numériques d'apprentissage de dernière génération pourraient aussi être à l'origine de phénomènes émergents… Ne pourrait-on pas imaginer par exemple qu'un saut discontinu et significatif dans le niveau moyen de connaissance des individus puisse se produire ? Ou encore que les derniers environnements numériques d'apprentissage soient en capacité d'« offrir à chaque individu, quelle que soit sa condition ou sa localisation, la possibilité d'apprendre gratuitement et sans aucune condition préalable », comme l'imagine Catherine Mongenet qui se met à rêver en conclusion de la préface de notre ouvrage sur l'appropriation sociale des MOOC en France (Trestini *et al.* 2016, p.13) ?

5.1.2 Modélisation des systèmes complexes

« Dès que l'on la description pour aborder l'analyse *des processus*, celle-ci implique une référence à un modèle dont la définition doit être d'autant plus précise que les raisonnements qu'on lui applique sont plus élaborés » (Goguel, 2016).

Nous avons discuté au paragraphe 3.2.1 des différentes fonctions de la modélisation ainsi que de la nature de ces modèles et de leurs usages. Ce faisant, nous nous sommes très vite

positionnés dans ce domaine en évacuant de nos préoccupations de recherche immédiates les modèles dits « théoriques » pour ne retenir que les modèles de type « objets » (Legendre, 1993) et en particulier les modèles graphiques et visuels. Pour autant, ces derniers permettent d'élaborer des théories qui ramènent le phénomène étudié à un phénomène plus général, en accord avec l'expérience et confronté avec elle (Goguel, 2016). Ainsi, tout au long de notre démarche de modélisation, nous faisons référence à des théories comme à celle *de la Modélisation des systèmes complexes* par exemple (Le Moigne, 1999) que nous considérons comme centrale (inspirée des précédentes théories, synthétique et relativement actuelle). C'est la raison pour laquelle nous nous y référons fréquemment. Mais d'un point de vue pragmatique, nos modèles n'ont pas d'autres ambitions que de fournir « une représentation schématique d'un objet ou d'un processus qui permet de substituer un système plus simple au système naturel » (Goguel, 2016). Les théories nous aident uniquement à construire ces modèles. En d'autres termes, notre intention n'est pas de construire une théorie sur la modélisation de la complexité mais de nous servir des théories de la complexité pour construire des modèles qui sont censés faciliter notre analyse.

Par exemple, *la simplification du modèle* « objet » à laquelle nous venons de faire allusion pourra se faire en effectuant une série *de réductions et de simplifications (réfléchies)*[123] *de l'information* que *la logique conjonctive* de « Modélisation des systèmes complexes » (modèle théorique) nous encourage à faire.

Nous reviendrons largement sur ce processus fondamental de réduction et de simplification de l'information (par des méthodes statistiques notamment) qu'autorise la logique conjonctive de la M.S. (Modélisation Systémique) *versus* M.A (Modélisation analytique) dans la section qui traite des arguments qui nous conduisent à appliquer la *théorie des systèmes complexes* à la modélisation d'ENA de nouvelle génération (§ 5.2.).

Par ailleurs, en avançant dans ces différentes théories, nous avons progressivement constaté qu'un rapprochement entre *la théorie des systèmes* et la *théorie de la modélisation* devenait indispensable à la compréhension de la complexité. Le Moigne (1977) en explique les raisons dans son ouvrage intitulé « La théorie du système général : Théorie de la modélisation » :

> « Le concept de "Système (en) Général" avait précisément été forgé pour faciliter les appréhensions, voire les compréhensions, de processus ouverts plutôt que d'objets fermés. Nul postulat d'existence a priori (ou de rejet a priori) de systèmes dans la nature (nature des choses ou nature humaine), mais un projet d'entendement lucide : se représenter le phénomène considéré comme et par un système en général. Ceci en tirant parti de l'expérience modélisatrice accumulée depuis les rhéteurs de la Grèce antique ("l'*inventio*" rhétorique) jusqu'au "Traité des systèmes" de Condillac[124]. En acceptant cette formulation réfléchie et argumentée du projet d'une « science des systèmes », on peut le légitimer et assurer son argumentation : *La science des systèmes s'entend comme la science de la modélisation systémique* » «(Le Moigne, 1994, p. 7)

Un système complexe est un modèle d'un phénomène perçu complexe que l'on construit par modélisation systémique (Le Moigne, 1999, p. 41).

Dans un deuxième ouvrage sur « La Modélisation des systèmes complexes », ce même auteur présente les *méthodes classiques* de modélisation et met en lumière leurs échecs. A travers des exemples, des paraboles et des points de repère historiques, il montre les limites de ces modèles au fil du temps.

---

[123] Par des méthodes factorielles par exemple.

[124] Voir l'article « Système » du *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, PUF, 1999, p. 901.

« La question posée par l'auteur est de savoir si l'on peut avec des modèles analytiques résoudre des problèmes réellement complexes. Pour traiter cette question, il commence par distinguer ce qu'est la complexité et ce qu'est la complication. Il part de deux postulats :

- la simplification du compliqué appliqué au complexe a pour conséquence une aggravation de la complexité ;
- les projets du système de modélisation ne sont pas donnés : ils se construisent.

Ensuite, il définit ce qu'est la modélisation. Il introduit la notion d'intelligibilité qui n'a pas la même signification pour un système compliqué (explication) que dans un système complexe (compréhension) […]. Autrement dit, l'auteur montre comment, face à un problème, nous élaborons les modèles sur lesquels nous allons raisonner » (Nonga Honla, 2000, 2 de paragraphe).

La modélisation systémique de la complexité se construit tout au long de l'ouvrage, en référence aux apports de plusieurs penseurs tels que Jean Piaget[125], Paul Valéry, Goethe, etc. qui ne se satisfont pas des modèles analytiques. Les limites de la pensée analytique confrontée à la complexité sont d'ailleurs mis en évidence dans de nombreux travaux et dans des disciplines aussi variées que la biologie, les mathématiques ou la neurophysiologie, considérés comme étant à l'origine du développement de la pensée systémique (Cambien, 2007, p. 9).

5.1.2.1 Logique conjonctive versus disjonctive

« La Méthode Analytique a besoin d'une logique disjonctive, puisque les résultats du découpage doivent être définitivement distingués ET séparés » (Le Moigne, 1999, p. 32). Mais cette logique ne permet pas, selon l'auteur et tous les penseurs qu'il cite, « de rendre compte des phénomènes que nous percevons dans et par leurs conjonctions complexes, … » (*Ibid.*, p. 33). Il reproche en outre aux partisans de l'école analytique « de chercher à adapter le problème posé aux modèles disponibles plutôt que de chercher des modèles de substitution répondant le mieux au problème » (Nonga Honla, 2000, 2 de paragraphe). L'utilisation des modèles analytiques nécessite une simplification du phénomène étudié, donc un découpage ou une division, il part de l'hypothèse que pour aborder une situation complexe, il faut changer de registre. Il faut passer du registre de la recension des connaissances disciplinées à celui des méthodes d'enrichissement des connaissances actives.

Pour guider son raisonnement et l'argumenter, Le Moigne se réfère à quelques repères stables qu'il appelle *axiomes*. Il dit rassembler ainsi « l'état contemporain de maturation de l'axiomatique fondée sur les textes Héraclite, d'Archimède, de Léonard de Vinci, de GB. Vico ou de Hegel » (*Ibid.*, p. 35), sous la forme de trois axiomes qui s'entendent au sein d'une épistémologie constructiviste (*le paradigme de l'Univers Construit*). Dans cet argumentaire, celle-ci vient radicalement en opposition avec l'épistémologie positiviste (*le paradigme de l'Univers Cablé*) qui repose, toujours selon l'auteur, sur les axiomes aristotéliciens de la modélisation analytique et de la logique disjonctive.

Citons *in extenso* les trois axiomes de la Modélisation systémique auquel se réfère l'auteur (*Ibid.*, p. 36):

1. *L'axiome d'Opérationnalité Téléologique ou de Synchronicité*

[125] « Dans les années (1980) Jean Piaget proposa de concevoir une « Logique des significations » que développe depuis l'école de Genève (R. Garcia, 1987) ; mais la discussion de ses fondements axiomatiques restait à conduire » Le Moigne (1999, p. 32).

Un phénomène modélisable est perçu Action intelligible et donc téléologique (non erratique, présentant quelques formes de régularité).

2. *L'axiome d'Irréversibilité Téléologique (ou de Diachronicité)*

   Un phénomène modélisable est perçu Transformation, formant Projet au fil du temps.

3. *L'axiome d'Inséparabilité ou de Récursivité (ou du Tiers exclus, ou de Conjonction, ou d'autonomie)*

   Un phénomène modélisable est perçu conjoignant inséparablement l'opération et son produit, qui peut être producteur de lui-même.

En se référant à ces trois axiomes, il apparaît que l'on peut effectivement assurer la rigueur et la cohérence cognitive des raisonnements de la modélisation (*Ibid.*, p. 35).

A chaque nouvel apport théorique est ensuite associé « un modèle canonique qui représente le nouveau système » (Nonga Honla, 2000, 2 de paragraphe). Le premier est « *La forme canonique du système général* » qui conduit l'auteur à définir quatre concepts fondateurs, regroupés deux à deux dans des *procédures (i)cybernétique* (Environnement actif et Projet) et (ii) *structuraliste* (Fonctionnement synchronique et Transformation diachronique), dont l'inséparabilité conduit à la conceptualisation du *Système Général*, entendu comme « la représentation d'un phénomène actif perçu identifiable *par* ses projets dans *un* environnement actif, dans lequel il fonctionne *et* se transforme téléologiquement » (Le Moigne, 1999, p. 40).

Au début du chapitre 6, nous reviendrons sur les concepts qui sous-tendent les procédures *cybernétique* et *structuraliste*. De manière plus mnémotechnique, « le système général se décrit par une action (un enchevêtrement d'actions) dans un environnement *(« tapissé de processus »*) pour quelques projets (finalités, téléologies) fonctionnant (faisant) et se transformant (devenant) » (*Ibid.* p. 40). Pour l'auteur, le concept de base de la modélisation systémique n'est donc pas sa structure mais l'*action* qu'il représente par une boîte noire ou *un processeur* symbolique qui rend compte de l'action.

Modéliser un système complexe, c'est modéliser d'abord un système d'actions » (Le Moigne, 1999, p. 45).

5.1.2.2 Système complexe et modèle canonique du processus

La modélisation de l'action complexe se caractérise par la notion générale de *processus* qui se définit par son exercice et son résultat. L'auteur représente le processus par trois fonctions : la fonction de transfert temporel, la fonction de transformation morphologique et celle de transfert spatial (Cf. Figure 66).

> « La conjonction *a priori* d'un transfert temporel E (déplacement dans un espace : un transport par exemple) et d'une transformation temporelle F (modification de la morphologie : un traitement industriel transformant farine et eau en pain, par exemple) constitue par définition un Processus. On le reconnaît à son résultat : un déplacement dans un référentiel « T-E-F », on l'identifie par son exercice » (Le Moigne, 1999, p. 47).

Martin *et al.* (2012) font remarquer à cet égard que « dans cette théorie, le système observé est appréhendé sous la forme d'une collection d'actions enchevêtrées, la notion de processus étant conceptualisée par celle d'action. Si le processus est une construction formelle exprimée au moyen du langage mathématique (équation différentielle) dans les référentiels « Temps – Espace – Forme », la description de l'action s'énonce quant à elle dans le langage naturel en réponse à la question « qu'est-ce que ça fait ? ». Bien que cette théorie repose sur la notion d'action, aucun cadre formel de description d'une action n'est proposé (Larsen-Freeman et

Cameron, 2008) ». Nous verrons plus loin que ces auteurs proposent un formalise au concept d'action qui nous sera très utile (et que nous souhaitons approfondir) pour modéliser les ENA considérés comme des systèmes complexes.

5.1.2.3 Système complexe et inter-relation d'actions

Revenant sur les concepts de rétroaction (ou de feed-back), Le Moigne (1999) caractérise chaque processeur par ses « intrants » et ses « extrants », à chaque période « t_i », avant d'établir trois processeurs archétypes qu'il spécialise dans des fonctions de transfert (i) temporel, (ii) spatial et (iii) morphologiques. Il distingue également les processeurs processant principalement des symboles (ou des informations) des autres (processant principalement des bien tangibles).

Il s'intéresse ensuite aux cas où le nombre de processeurs considérés devient élevé (cas fréquents dans les systèmes complexes) et propose alors de différencier le système en « autant de sous-systèmes ou *niveaux*, chaque niveau pouvant être modélisé par son réseau et interprété de façon relativement autonome dès lors que les interrelations de couplage inter-niveaux ont été soigneusement identifiées » (*Ibid.*, p. 53). « On aura l'occasion de montrer [dit-il] que cette méthode délibérée d'articulation *a priori* d'un système complexe *en multiples niveaux fonctionnels* (par projets intermédiaires) va conduire à un modèle canonique très général qui guidera souvent à une modélisation intelligible de son organisation » (*Ibid.*, p. 57).

5.1.2.4 Le modèle archétype de l'articulation d'un système complexe à neuf niveaux

K.E. Boulding (1956, 1967, 2004) et à la suite J.L. Le Moigne (1999, p. 58) ont proposé une définition d'une organisation basée sur la définition de niveaux croissants de complexité d'un système, chaque niveau comportant en outre tous les caractères des niveaux inférieurs. L'article *General system theory, the Skeleton of Science* (« l'armature de la science », *opus cité.*) présente la célèbre analyse en neuf niveaux de Boulding (1956, 2004). C'est elle que nous présentons ici rapidement. Nous rappellerons au chapitre 6 la signification de chacun de ces niveaux lorsque nous appliquerons la démarche à la modélisation d'un ENA. Nous éviterons ainsi les redondances en citant cette fois la manière dont Le Moigne les a interprétés. Ce qui rend important cette analyse *en neuf niveaux* n'est pas tant la manière dont elle est formulée, mais la manière dont elle a contribué « à éclairer les conditions d'utilisation de l'approche ou de la méthodologie systémique »[126].

Nous ne citerons brièvement ici que les six premiers niveaux, renvoyant le lecteur intéressé par la description des autres niveaux soit au document d'origine (*op.cit.*) soit à l'ouvrage de Tardieu, Nanci, et Pascot (1979), soit aux réinterprétations faites par Le Moigne (1956, p. 58) reprises en partie au chapitre 6.

- Niveau 1

  « Le premier niveau est celui de la structure statique »[127] (Boulding, 1956, p. 202). Le phénomène à modéliser est identifiable mais passif et sans nécessité.

- Niveau 2

  Le phénomène est actif. Il fait, c'est-à-dire qu'il « *transforme* un ou plusieurs *flux entrants* en un ou plusieurs *flux sortants* » (Tardieu *et al.*, 1986, p. 60).

---

[126] Kenneth E. Boulding, (2015, mis à jour 29 juillet).Dans *Wikipédia*. Récupéré du site : https://fr.wikipedia.org/wiki/Kenneth_E._Boulding

[127] "The first level is that of static structure" (Boulding, 1956, p. 202)

- Niveau 3

  Il est actif est régulé. « Il présente des *régularités de comportement* ».

- Niveau 4

  Il s'informe. « L'information permet à un processeur de connaître quelque chose de l'activité d'un autre processeur appartenant au système ou à son environnement. La régulation d'un système, grâce à un flux d'information, est le concept de base de la cybernétique » (*Ibid*.). Le système transmet des instructions de régulation, rendant compte *des changements d'états* du système.

- Niveau 5

  Il décide de son activité. Ce niveau de complexité nous laisse présager des liens qui vont s'établir entre un « système de pilotage » et un « système opérant » que nous définirons ultérieurement. Ici le système est perçu capable de prendre des décisions sur son activité.

Nous reviendrons assez rapidement sur ce niveau 5 de l'organisation et traiterons également du niveau 6 dans le paragraphe relatif au concept d'Organisation (§ 5.1.2.5). Notons pour l'heure que la définition des concepts d'arborescence (vus au § 5.1.2.3) et de niveaux d'organisation proposés par Boulding (vus au § 5.1.2.4) constitue une première étape décisive dans la modélisation des systèmes complexes. « Du premier niveau correspondant aux objets statiques et simples de la physique et de la chimie jusqu'au dernier niveau de la socio-culture, le mouvement est celui d'une complexification croissante. La compréhension du système représenté par le neuvième niveau suppose celle de tous les niveaux précédents » (Cambien, 2007, p.16)..

« Cette présentation de la complexité, outre son intérêt didactique, offre un intérêt méthodologique. Elle illustre la propre démarche d'un intervenant (ou d'un curieux) lors de sa prise de connaissance de l'objet système d'information […]. Les organisations sociales, but de notre modélisation, sont au niveau le plus élevé, le neuvième (Tardieu *et al.*, 1986, p. 59).

5.1.2.5 L'organisation active : système opérant et système de pilotage

S'il est bien un concept central qui permet de décrire scrupuleusement un système complexe, c'est celui d'*Organisation Active*.

> « Dire qu'une entreprise, une municipalité, une famille, un gouvernement, une industrie, un écosystème, une université, un hôpital, un club, etc. sont des systèmes complexes, c'est déjà postuler quelques hypothèses fortes que l'on a reconnues. Il s'agit d'un complexe d'actions irréversibles, récursives, téléologiques, que l'on se propose de désigner (ou modéliser). L'organisation de cet exercice de modélisation passe par un concept pivot, aujourd'hui bien explicité, celui d'Organisation Active (qu'E. Morin propose d'appeler l'Organis-action et F. Perroux l'Unité Active) » (Le Moigne, 1999, p. 73).

L'organisation est ici considérée comme « active » car c'est elle qui décide de son activité. Si le comportement du système était uniquement dépendant des interventions extérieures, il ne serait pas complexe mais simplement prévisible. La complexité apparaît avec l'émergence de capacités d'autonomie au sein du système. Le comportement d'un système complexe se régule de façon endogène ; c'est donc lui qui veille à ce que son comportement soit conforme à ce qui était prévu et qui décide éventuellement d'agir pour le modifier. L'organisation est donc constituée « d'une part, d'un *système opérant* (SO), siège de l'activité permettant la transformation du flux entrant en flux sortant et, d'autre part, d'un *système de pilotage* (SP) capable, au vu des informations représentant l'activité du système opérant, de réagir en fonction d'un certain projet (de certains objectifs) pour prendre des décisions […]. La

dynamique de l'organisation [Organisation active] concerne, d'une part, *le fonctionnement du système opérant* et d'autre part, *le fonctionnement du système de pilotage* (Tardieu *et al.*, 1986, p. 61) comme nous le suggère le schéma de la Figure 41.

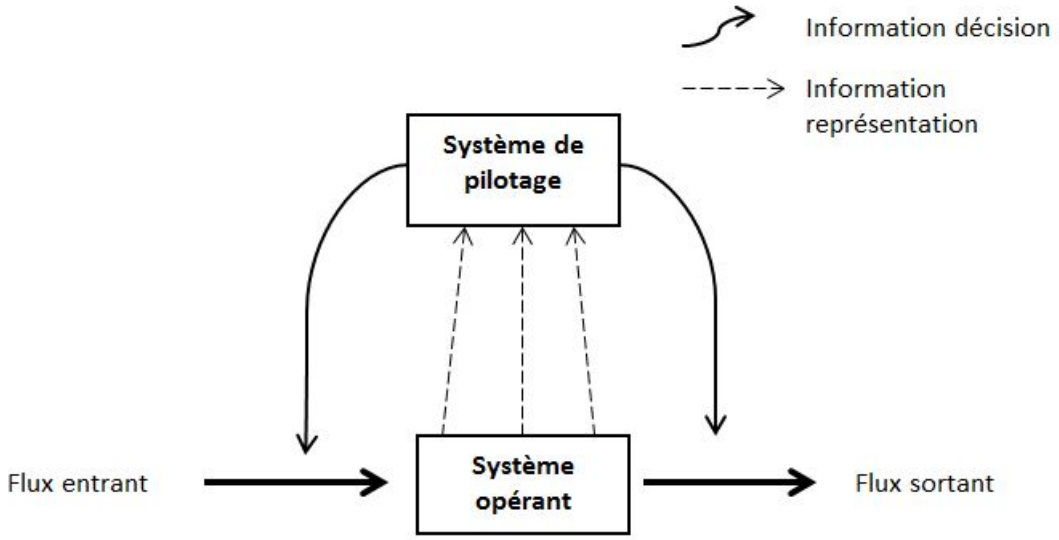


Figure 41. Niveau 5 de la description d'une organisation : L'objet décide de son activité[128].

- *Le fonctionnement du système opérant*

De façon métaphorique, le fonctionnement du système opérant peut être représenté par une succession de photographies de chaque couple d'intrant-extrant, prises « en rafale », lesquelles représentent l'état du système, à chaque instant successif, vu de l'extérieur. De fait, son fonctionnement peut être défini comme « *la chronique des observations instantanées* par lesquelles le système de représentation[129] avait convenu de repérer le comportement de l'objet » (*Ibid.*, p. 62). Mais cette série d'états reflète précisément le *fonctionnement constaté* du système et non pas forcément celui qui était prévu. Il devient alors utile de pouvoir comparer les états observés, à chaque instant « t », au fonctionnement souhaité. Cela nous conduit à considérer, d'une part *une structure fonctionnelle* résultant d'une conception (un programme) qui modélisera le fonctionnement souhaité et d'autre part, un modèle qui décrira le *comportement constaté*. Ce faisant, immergé dans son environnement, le système opérant qui sera sans doute la cible de perturbations extérieures imprévues (bruit organisationnels), rendra compte au système de pilotage de ces variations (information représentation). Celui-ci prendra alors les décisions nécessaires pour que l'organisation respecte au mieux les objectifs qu'elle s'était fixés (information décision).

- *Le fonctionnement du système de pilotage*

Le système de pilotage reçoit donc en entrée des informations de représentation sur le fonctionnement du système opérant et produit en sortie des décisions visant à maintenir ou modifier son comportement. Cette régulation se fera en fonction du projet de l'organisation dont il devra évidemment connaître les détails. On peut d'ailleurs s'attendre à ce que cette

[128] Schéma créé par nos soins mais fortement inspiré de la figure 5 de l'ouvrage de Tardieu *et al.* (1986, p.62).

[129] Nous appelons « système de représentation » le système qui sélectionne et construit les informations qui circulent dans l'organisation, il est souvent fait mention à son sujet de référentiel.

vérification soit faite au niveau du système de pilotage en contrôlant la bonne connaissance du projet de l'organisation. Le système de pilotage a donc lui-même un fonctionnement qui peut être modélisé « *comme une chronique d'observation* » (*Ibid.*, p. 63) des couples (intrants et extrants) de son propre système et constituant son état. « Concrètement, cela signifie que l'association des informations représentations fournies au système de pilotage et des informations décisions prises par lui est bien une représentation du fonctionnement de sa logique interne » (*Ibid.*, p. 63). En se projetant dans notre modélisation future, on serait en droit d'imaginer qu'il existe bien un lien entre la prise de décision à limiter la durée d'un MOOC à six semaines et l'endurance constatée des inscrits.

5.1.2.6 Le système d'information

« L'Information permet à l'organisation d'adapter son comportement à chaque instant par régulation, se transformer, se rééquilibrer afin d'être en osmose avec l'environnement. Donc, l'Information donne lieu à un processus d'ajustement permanent de l'organisation par les canaux (on dit que le système s'adapte par accommodation) et les codes (on dit que le système s'adapte par assimilation) de communication par rapport à un projet » Nonga Honla (2000, 2 de paragraphe).

Au niveau 6 de la modélisation de l'organisation est introduit le système d'information (SI). Il permet d'assurer un couplage entre l'information considérée au moment de son stockage et l'information considérée au moment de son utilisation. En effet, « en élaborant ses décisions, le système ne considère pas que les informations instantanées, comme le fait par exemple un thermostat classique, ou un arc réflexe ; il considère aussi les informations qu'il a mémorisées » (Le Moigne, 1999, p. 61).

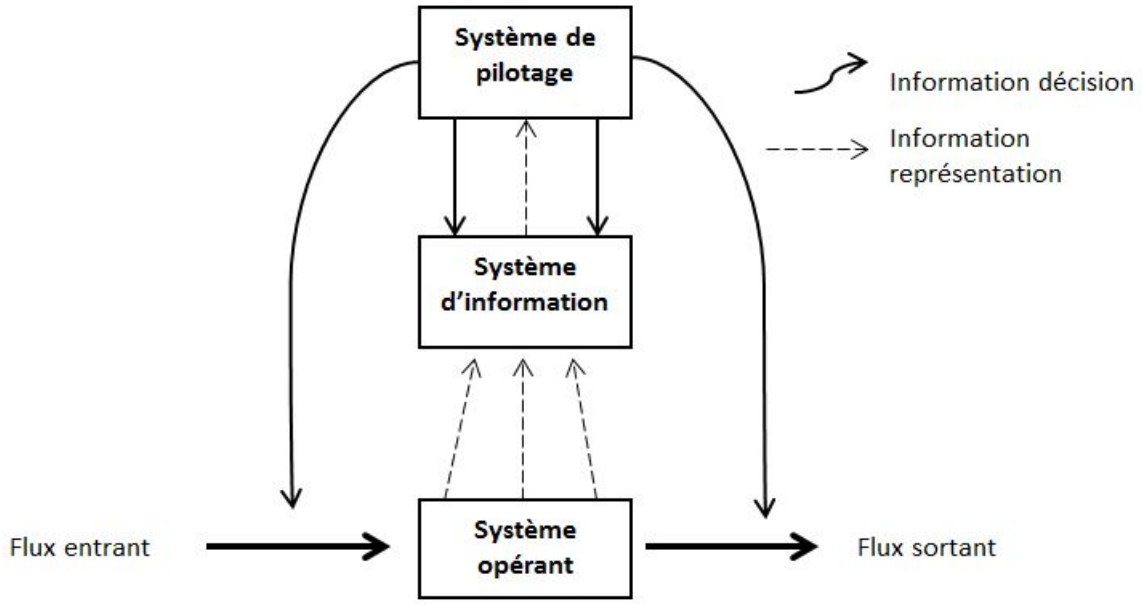


Figure 42. Niveau 6 de la description d'une organisation[130].

A ce niveau, le système de pilotage peut non seulement disposer des informations de représentation sur l'état actuel du système opérant (*e.g.* qui est en train d'échanger de l'information sur le fil de discussion, pour reprendre notre exemple d'activité sur un MOOC),

[130] Schéma créé par nos soins mais fortement inspiré de la figure 6 de l'ouvrage de Tardieu et al. (1986, p.65)

mais aussi sur les états passés du système opérant (nombre d'inscrits ayant été actifs sur le fil de discussion lors de la dernière session de formation par exemple).

Les questions qui vont à présent se poser pour compléter ce niveau 6 concernent d'une part *la dynamique dans le système d'information de l'organisation* (où existe une interactivité système d'information / système opérant) et d'autre part *la dynamique du système opérant* et du système *de pilotage* dans *le système d'information*. Nous renvoyons le lecteur intéressé par les détails de ces trois représentations au § 3.5 de « La Méthode Merise » (Tardieu *et al.*, 1986, p.65).

Néanmoins et en substance, « le système d'information (SI) de l'organisation :

- enregistre les représentations (sous forme symbolique) des opérations du système opérant (le comportement du système complexe),
- les mémorise,
- les met à disposition, sous forme en général interactive, du système de décision. Lequel, après avoir élaboré ses décisions d'action (les commandes), les fait également enregistrer et mémoriser par le S.I. en les transmettant « *pour action* » au système opérant » (Le Moigne, 1999, p. 87).

5.1.2.7 Le modèle canonique du système Organisation à trois niveaux : SO, SI, SD

Il est alors possible de représenter l'organisation par un modèle constitué :

- d'un système de décision
- d'un système d'information
- d'un système opérant.

La figure 49 représente un schéma possible de cette organisation.

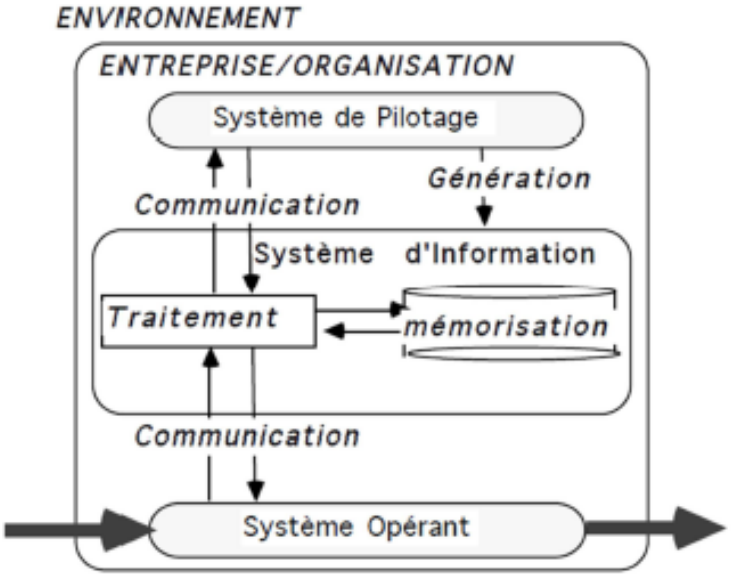


Figure 43. Modèle Canonique du système Organisation et ses trois sous-systèmes (SO, SI, SD).

Le Moigne ajoute que « le modèle canonique du système-organisation, articulant les trois niveaux : opération, information, décision, est universel. On peut toujours entreprendre la modélisation de l'organisation d'un système complexe par ce modèle génotype » (*Ibid.*, p.87).

5.2 ARGUMENTS EN FAVEUR DE L'APPLICATION DE LA THEORIE DES SYSTEMES COMPLEXES A LA MODELISATION D'ENA DE NOUVELLE GENERATION

5.2.1 Introduction

Il ressort clairement du chapitre 4 les limites de certains modèles de conception ou d'analyse d'ENA dès lors que le contexte dans lequel ils s'insèrent fait l'objet de transformations sociotechniques relativement importantes liées par exemple à l'émergence d'innovations techno-pédagogiques.

Appuyons-nous d'abord sur l'exemple du modèle d'Engeström pour rappeler les premières modifications que nous envisagions de faire, les discuter et développer des arguments en faveur d'une nouvelle piste possible, comme par exemple celle d'un changement radical de paradigme en matière de modélisation.

Avec l'émergence des réseaux sociaux, des MOOC, de l'apprentissage informel *via* les réseaux et des approches connectivistes de l'apprentissage, nous nous sommes aperçus que l'analyse d'environnement numérique d'apprentissage (ENA) était devenue encore plus complexe à réaliser qu'elle ne l'était auparavant. Proposons ici un retour sur cette évolution importante et sur les événements qui l'ont ponctuée.

Après avoir développé en « grappes » chacun des pôles de ce modèle, dupliqué et étiré dans les trois dimensions de l'espace sa structure interne, ajouté de nouvelles relations entre ses constituants (cf. 4.2 et 4.3), un *nouveau* sentiment d'incomplétude est né vis-à-vis de cette représentation. Il nous a alors semblé important de reconsidérer l'emploi systématique de ce modèle triadique (et de l'expansion proposée) que nous trouvions à nouveau peu adapté(s) à ces nouveaux objets d'étude.

A ce sentiment d'incomplétude s'est ajouté celui de se diriger à contre-courant de ce que la Modélisation Systémique nous enseigne aujourd'hui (Cf. § 5.1.2) dans son effort contemporain d'explicitation : *raisonner en conjoignant plutôt qu'en disjoignant*.

La structure du modèle[131], constituée de ses différents pôles (Sujet, Objet, Outil, Communauté, Division du travail, *etc.*), quoique pratique dans certains cas simples d'analyse, témoigne (dans l'art de raisonner) de l'adoption d'une logique disjonctive propre à la modélisation analytique (M.A.)[132]. Celle-ci se retrouve en tension avec la logique conjonctive que prône la modélisation systémique (M.S). En justifiant ainsi une découpe potentiellement infinie des constituants-objets du système, nous avons eu le sentiment de nous éloigner progressivement de la forme canonique du « Système Général » (cf. chapitre 5).

Le modèle d'Engeström (1987) ne pouvait certes profiter à l'époque où il a été construit des nouveaux apports de la *Science des systèmes*. Il pouvait se réclamer de la systémique comme de nombreux autres modèles dits d' « analyse des systèmes » élaborés dans ces années-là (ou les années précédentes). Mais à la lumière des travaux sur la modélisation systémique de la complexité, ce modèle repose bien sur une *axiomatique disjonctive* puisque les résultats du découpage, en pôles constitutifs du modèle, doivent être définitivement distingués *et* séparés.

Cette impression d'infinie décomposition en sous-ensembles de *constituants* plus fins (et non pas de *foncions* ou *processus spécialisés*) a été d'ailleurs la même au moment où nous voulions l'appliquer aux modèles d'ingénierie pédagogique (§ 3.4.1). Ces derniers ont du

[131] Il s'agit ici de sa structure initiale (celle que proposa d'Engeström) et *a fortiori* celle à laquelle nous ajoutions une expansion.

[132] Même si Engeström revendique sa nature systémique (Cf. 5.2.2.4).

reste montré d'autres insuffisances comme par exemple leur difficulté à pouvoir s'adapter à certaines évolutions pédagogiques de l'EAD, comme l'apprentissage par situation-problème (Meirieu, 1994) ou collaboratif (Henri, et Lundgren-Cayrol, 2001). Malgré les énormes progrès qui ont été fait dans ce domaine, il nous fallait reconnaître que les EML actuels avaient encore du mal à représenter correctement les activités collaboratives construites autour de situation-problèmes, en témoignent les travaux de Pernin et Lejeune (2004b) ; Ferraris, Lejeune, Vignollet et David, (2005) ; Ferraris, Lejeune, Vignollet et David,(2005) ; Lafourcade, (2005) ; Laforcade, Nodenot, et Sallaberry, (2005). Par ailleurs, l'adoption d'une approche plus « *macro* » nous apparaissait plus adaptée au contexte des recherches actuelles qui visent à mieux prendre en compte l'ensemble des activités présentes au cœur des ENA (Oubahssi, Grandbastien, 2007 ; Villiot-Leclerck, 2007 ; etc.). Les ingénieries dites de formation ont cette ambition : prendre aussi en compte les activités de gestion de l'activité par exemple (cf. 3.4.2).

Enfin, les modèles adaptatifs actuels (cf. § 3.4.3) portant en particulier sur les dernières innovations techno-pédagogiques comme les MOOC (Blanco *et al.*, 2013 ; Bejaoui, *et al*. 2015), ont pour ambition d'anticiper les besoins des apprenants et d'y apporter une réponse, et ce quelle que soit la complexité du système. Mais dans ce cas précis, ne sommes-nous pas face à un autre défi, à savoir celui de vouloir concevoir un système capable de s'adapter à toutes les situations rencontrées ? Pour reprendre les mots d'Atlan (1979, p.5), « dans ce type de système, le but à atteindre est connu, aussi complexe soit-il ». La finalité est précisée et détermine la valeur de la procédure. Nous reconnaissons là typiquement ce qu'Atlan a appelé un système à complexité algorithmique. La complexité naturelle est inhérente aux « systèmes non totalement maîtrisés par l'homme parce que non construits par lui » (Atlan, 1979, p.5). Vouloir substituer des modèles propres à la théorie de la complexité aux modèles de l'équipe canadienne du LICEF (Bejaoui *et al.*, Paquette, 2010) fondé sur la modélisation d'une ontologie n'a rien de provocateur, c'est seulement une façon de « remplacer la recherche d'exactitude d'une ontologie matérialiste par une phénoménologie plus incertaine construisant des modèles approximatifs, mais qui correspondent mieux à des phénomènes tout à fait réels et dont le réductionnisme ne peut rendre compte » (Zin, 2003).

Comme l'organisation d'un système complexe est considérée comme « active » (c'est un concept de le M.S.), c'est elle qui décide (et non un programme) de son activité (cf. § 5.1.2). Si le comportement du système était uniquement dépendant des interventions extérieures, il ne serait pas complexe et encore moins imprévisible. La complexité apparaît avec l'émergence de capacités d'autonomie au sein du système. « Dans les groupes humains par exemple, et plus particulièrement dans le cas de l'émergence de la propagation de rumeur ou de panique dans les foules[133] (Provitolo, 2007), l'auto-organisation n'est pas le fruit d'une intention prédéterminée. Des agents ou des entités en interaction, sans but commun préalablement défini, vont créer sans le savoir et par imitation une forme particulière d'organisation. Ce qui caractérise donc les systèmes auto-organisés, c'est l'émergence et le maintien d'un ordre global sans qu'il y ait un chef d'orchestre » (Provitolo, 2008, p. 2) et nous postulons que ce maintien de l'ordre ne peut être *préconçu*. La théorie de *l'auto-organisation critique* proposée par Per Bak, Chao Tang et Kurt Wiesenfeld en 1987 (Bak, 1996) montre qu'il nous est impossible de *prévoir* et *anticiper* tous les comportements d'un système complexe.

Aussi utile que soit la conception de « système *adaptatifs* » (au sens de l'ingénierie de formation), nous devons aussi croire en leur capacité (au sens de la théorie des « systèmes complexe *adaptatif* ») à réagir au mieux aux perturbations, aussi bien externe qu'interne,

[133] Nous en avons été témoins le 14 août 2016 avec la détonation de pétards visant à simuler un attentat terroriste à Juan-les-Pins, dans les Alpes-Maritimes.

c'est-à-dire à s'autoréguler. Comme le conseille Delannoy (2000), il ne faut pas craindre la complexité : « à vouloir simplifier le réel, ne risque-t-on pas de se mettre en marge de la richesse qu'il offre ? ».

En résumé, l'hypothèse que nous émettons pour justifier de l'adoption du paradigme de la modélisation systémique de la complexité tient principalement à la reconnaissance de phénomènes complexes qui agissent au cœur même de notre objet d'étude (ENA de dernière génération) et à l'inadéquation supposée de la modélisation analytique (M.A.) pour résoudre le problème posé. Mais d'autres raisons viennent renforcer ce choix délibéré, comme par exemple :

- l'existence de nombreux points de convergence entre les conceptions connectivistes de l'apprentissage et la théorie des systèmes complexes ;
- l'existence d'une analogie conceptuelle entre la M.S. de la complexité et la M.S de l'activité ;
- l'existence de langages « mieux » adaptés à la modélisation des systèmes complexes, ouverts en outre aux sciences sociales ;
- pour s'inscrire dans une démarche prospective et ainsi permettre de répondre aux nombreuses questions de société sur l'avenir de ces environnements numériques, etc.

Nous allons développer et expliciter ci-dessous ces quelques arguments périphériques, après avoir fait subir le même traitement à nos deux arguments centraux.

5.2.2 Parce que l'ENA est un système complexe

En reprenant tour à tour les différentes caractéristiques d'un système complexe exposées au § 5.1, expliquons ce qui nous autorise à considérer un ENA de dernière génération comme un système complexe.

5.2.2.1 Parce qu'un monde de connaissance est aussi un système complexe

Avoir pour projet de modéliser un monde de connaissance, tel un ENA de dernière génération, en se référant au paradigme constructiviste de la modélisation systémique de la complexité, peut paraître un exercice audacieux. Mais postuler de surcroît que toute acquisition de connaissance peut s'accommoder d'un monde non nécessairement construit dans le seul but d'apprendre tient peut-être cette fois de la gageure. Nous voulions pourtant relever ce défi en appréhendant l'organisation cognitive et le système cognitif humain comme des systèmes complexes auto-organisateurs capables d'apprendre au sein d'un monde organisé (plutôt que construit au sens formel du terme) dans ce but, en conjuguant *deux courants de pensée* dont l'union semblait, il y a encore quelques années, utopique. Argumentons ici ce choix dont le développement principal se trouve sur demande personnelle de Jean-Louis Le Moigne dans les Cahier des Lectures MCX (Modélisation de la Complexité) du « Réseau Intelligence de la Complexité » (Trestini, 2009a).

Le premier de ces courants est fondé sur la théorie des systèmes complexes qui postule que toute occasion d'apprentissage résulte de la désorganisation d'un système sujet à des perturbations extérieures. Que ce système soit social ou cognitif, il se réorganise ensuite en augmentant son degré de variété ou de complexité. En tant que système, il s'enrichit de cette désorganisation grâce « un processus d'apprentissage non dirigé, au sens où cet apprentissage ne résulte nullement d'un programme préétabli dans la mémoire humaine ou dans l'environnement naturel ou social de cette mémoire. […] La cause efficiente de cet apprentissage réside dans la rencontre aléatoire du système de la mémoire et de certains

facteurs de bruit en provenance de son environnement. […] Le produit de cet apprentissage consiste en une succession de catégories psychologiques toujours plus fines ou différenciées, dont la liste et le mode de construction sont susceptibles d'être remises en cause à n'importe quelle étape du processus » (Ancori, 1992).

On peut comprendre intuitivement ce phénomène lorsque l'on pense à la théorie classique de l'évolution : « les mutations, qui sont précisément des erreurs de réplication des ADN, sont considérées comme la source de l'augmentation progressive de la diversité et de la complexité des êtres vivants »[134] (Atlan, 1999, p. 27). L'augmentation de la complexité d'un système peut donc produire un effet positif sur eux ; elle devient source d'apprentissage. Mais cette théorie tient également pour acquis que ce processus auto-organisateur ne peut opérer que dans des systèmes à complexité naturelle, c'est-à-dire une complexité inhérente aux « systèmes non totalement maîtrisés par l'homme parce que non construits par lui » (Atlan, 1979, p. 5), tels les systèmes biologiques comme la mémoire, les systèmes sociaux, etc.

Le second courant s'intéresse au contraire à la manière de « construire » ces mondes ; d'où l'apparent paradoxe. De par leur nature prescriptive, les modèles de *design* d'enseignement (ou *Instructional Design*) s'appuient en effet essentiellement sur des approches épistémologiques de type behavioriste dans le but d'« instruire » le sujet. A l'inverse, les environnements constructivistes d'apprentissages mettent l'emphase sur des environnements interactifs qui sollicitent l'expérience personnelle du sujet, d'abord au travers d'activités collectives, soutenues par le formateur et le groupe social, et ensuite lors d'activités individuelles. L'approche connectiviste va encore au-delà en se référant principalement aux processus métacognitifs, voire méta-métacognitifs auxquels les apprenants doivent accéder pour apprendre en réseau (Siemens, 2005 ; Bateson, 1977, p. 323). Dans ces derniers cas, l'apprentissage n'est plus tributaire d'un « enseignement » *stricto sensu*. Formellement, dans les modèles constructivistes, voire connectivistes, le processus d'apprentissage opère indépendamment des situations cognitives construites par l'enseignant ou par le concepteur. Au plus, ces environnements requièrent de la part de ce dernier la « création » d'environnements « réels » utilisant le contexte dans lequel l'étude est appropriée (Jonassen, 1991). Puisqu'il s'agit là de concevoir « artificiellement » des situations « réelles » d'apprentissage ou de simuler des situations liées à un contexte naturel, les modèles de *design* d'enseignement se sont progressivement accommodés des croyances et pratiques constructivistes. Aux paradigmes fondateurs des modèles de *design* d'enseignement, d'abord behavioriste, puis behavioriste et cognitiviste, vient maintenant s'ajouter le paradigme constructiviste (Trestini & Lemire, 2008).

De notre point de vue, une des clés du succès de l'« application de la théorie des systèmes complexes à la modélisation d'ENA de nouvelle génération » réside dans l'articulation réussie entre ces deux courants. Pour Lemire (2008, p. 38), construire un monde de connaissance c'est d'abord « tisser des liens entre des démarches de modélisation de la réalité et le système général ». C'est une manière d'expliquer le monde perçu comme un système qui évolue, pour mieux le comprendre et évoluer avec lui, sans vouloir le contraindre ; c'est aussi prétendre profiter de son évolution. C'est un peu apprendre à mieux connaître le système dans lequel nous progressons en ayant recours à une modélisation éclairante ; ou encore apprendre à mieux nous connaître en tant que système cognitif intégré dans ce système englobant. En modélisant de la sorte les systèmes qui nous entourent ou qui nous habitent, nos actions deviennent des actes métacognitifs. C'est en « appliquant une méthodologie propre à la démarche systémique que les modèles construits à partir de réalités perçues deviennent la

[134] La fin du "tout génétique"? Vers de nouveaux paradigmes en biologie : une conférence-débat organisée par le groupe Sciences en questions, Paris, INRA, 28 mai 1998 (Broché) , de Henri ATLAN, Institut national de la recherche agronomique (France).

représentation de ce qui est reçu comme et par un système général » (*Ibid.* p. 37). De ces considérations, l'objectif clairement poursuivi est formulé comme une invite à modéliser ce qui caractérise un monde réel, propice à l'auto-construction de la connaissance.

5.2.2.2 Parce que l'ENA de dernière génération est un système « ouvert »

Rappelons que ce qui caractérise les ENA de dernière génération, dont les MOOC en sont actuellement les meilleurs représentants, est avant tout leur ouverture au monde, ainsi que les conséquences que cette ouverture induit. Le « O » de l'acronyme MOOC en témoigne ostensiblement : les cours en ligne deviennent ouverts à tous. Comme nous le rappelons dans notre ouvrage sur l' « appropriation sociale des MOOC en France » (Trestini *et al.*, 2016, p. 15), les contraintes d'inscription, c'est-à-dire de lieu, de temps, d'âge, de diplôme, de droits d'inscription tombent d'elles-mêmes. « Open » signifie que tout le monde y a accès, contrairement à l'enseignement en ligne traditionnel (EAD) qui nécessite une inscription avec des conditions d'accès difficilement négociables (diplôme, disponibilité, effectifs, maîtrise de la langue, droits d'inscription, etc.). C'est une des caractéristiques majeures des MOOC qui confirme et renforce indubitablement son originalité. Nous pouvons d'ailleurs juger immédiatement des conséquences de cette ouverture provoquée par la présence de la lettre « M » dans l'acronyme. Celle-ci signifie *massive* en anglais. L'aspect massif d'un MOOC est certainement ce qui impressionne le plus lorsque l'on découvre un MOOC. La plupart des gens interrogés à ce sujet commencent d'ailleurs par citer des nombres impressionnants (des centaines de milliers de personnes) correspondant à l'effectif des inscrits. Lorsque l'on demande à un professeur de décrire son activité d'enseignement, il évoque immédiatement une trentaine d'élèves face à lui, voire davantage s'il s'agit d'un cours universitaire. Dans un MOOC, ce ne sont pas 30 ni 50 inscrits que l'on a face à soi, mais 150 000 voire davantage encore. A notre connaissance, le MOOC qui a eu aujourd'hui le plus d'inscrits compte 230 000 utilisateurs pour un seul cours. Imaginez-vous face à 230 000 élèves ! Cet effectif correspond sensiblement à l'effectif de la population américaine qui était venue écouter Martin Luther King (MLK) lors de son célèbre discours « I have a dream » à Washington devant le Lincoln Memorial le 28 août 1963. Il existe donc *une infinie variété* de profils des apprenants, de leur origines géographiques, socio-culturelles, de leurs prérequis, mais aussi de leur manière d'apprendre, dans les modalités d'enseignement, dans les dispositifs d'aide et d'accompagnement proposés, etc. Et puisque la complexité d'un système se mesure (même quantitativement) par sa variété, il n'y a aucun scrupule à considérer un ENA de dernière génération comme un système complexe. Comme le disait Tardieu *et al.* (1986, p. 33) « les deux notions qui caractérisent la complexité sont la variété des éléments et l'interaction entre ces éléments ». Concernant les interactions, nous avons vu qu'au sein des MOOC, les participants s'auto-enseignent et s'auto-motivent dans un espace interactif et animé (Cristol, 2012) ce qui, au vu de la variété des constituants du système, augmente d'autant la variété des interactions entre ces participants. Rappelons en outre que que George Siemens[135] est persuadé que l'éducation formelle ne représente plus la majorité de notre apprentissage, qu'il existe au contraire *une grande variété* de façons d'apprendre aujourd'hui, par le biais des communautés de pratique, des réseaux personnels et à travers l'exécution des tâches liées au travail ».

[135] Traduction personnelle des propos cités de George Siemens (2005).

5.2.2.3 Nature imprévisible de L'ENA

Il faut également reconnaître à ces environnements une évolution chaotique qui caractérise les systèmes complexes. Leurs effets sont donc par nature imprévisibles. Pour reprendre le cas exemplaire des MOOC, rien ne permettait en effet de prédire en 2013 ce qu'ils allaient devenir et encore moins ce qu'ils étaient censés apporter à la société française. Certains journaux et médias, des plus sérieux, n'ont d'ailleurs pas hésité à prédire la fin de l'enseignement universitaire traditionnel : « un modèle qui pourrait révolutionner le système éducatif ; plus besoin de retourner sur les bancs de la fac pour suivre une formation « prestigieuse »[136]. Et ce ne sont peut-être pas que les qualités de « visionnaire » de Geneviève Fioraso[137], alors ministre de l'enseignement supérieur, qui ont lancé le gouvernement français dans l'aventure des MOOC en janvier 2014. Ce fut plutôt la crainte de passer hélas à côté d'éventuels bénéfices dont nous aurions pu bénéficier par la suite sans pour autant être certains d'y avoir accès in fine. La démarche consistait donc à ne pas risquer de rater « un train en marche » alors qu'on ne connaissait pas très bien sa destination. Aujourd'hui encore, rien ne nous permet d'affirmer avec certitude dans quelle mesure cette innovation d'envergure va modifier ou non le paysage du monde universitaire français, voire mondial. Cette imprévisibilité nous permet de dire qu'un ENA de dernière génération peut être étudié comme un système complexe et non pas comme un système ordinaire ou « simplement » compliqué (Cf. § 5.1.1.2). Par ailleurs, complexe (ou chaotique) ne signifie pas hasardeux. Et c'est bien là l'intérêt d'étudier les systèmes complexes avec les outils de la modélisation systémique de la complexité. Comme nous l'avons vu au paragraphe 5.1.1.3, entre un système complètement prévisible et un système chaotique (i.e. complétement imprévisible) se trouvent les systèmes complexes, c'est-à-dire des systèmes à prédictibilité et probabilité moyennes.

Tout l'intérêt de la modélisation systémique de la complexité s'en trouve dévoilé : l'émergence de certains phénomènes peut être anticipée par modélisation avec une certaine probabilité d'exactitude.

Nous pouvons donc envisager toutes sortes de prédictions qui seront bien utiles aux concepteurs et usagers des ENA, mais aussi aux politiques qui ne cessent de réclamer des rapports éclairants sur ces questions de société. C'est pourquoi nous consacrons un paragraphe entier à ce sujet (§ 5.2.5) pour clore ce chapitre.

5.2.2.4 A cause des limites de la modélisation analytique et de la logique disjonctive

La logique *disjonctive* propre à la modélisation analytique (M.A.), *versus* conjonctive propre à la modélisation systémique (M.S.), vise à étudier indépendamment les constituants d'un système : « les résultats du découpage doivent être définitivement distingués ET séparés » (Le Moigne, 1999, p. 32). De fait, elle ne permet pas « de rendre compte des phénomènes que nous percevons dans et par leurs conjonctions complexes » (*Ibid.*, p. 33).

En sciences physiques, prenons l'exemple des concepts d'*Energie* et de *Travail*. Appliqués à un corps en pesanteur dans l'espace (par exemple un caillou reposant sur notre la main à un mètre du sol), on définit l'Energie (potentielle) de ce corps par la valeur du Travail (au sens physique du terme : Force x déplacement) qu'il est « potentiellement » capable de produire dans sa chute (si on lâche le caillou, bien sûr). Il est donc facile de retrouver la valeur de son

[136] …disait, à une heure de grande écoute, un reporter du JT week-end de Claire Chazal sur TF1 à la rentrée universitaire 2013 !

[137] Interviewée le 8 mars 2014 à l'émission 01Business.

énergie potentielle : m.g.z (m.g étant la force du poids et z la distance du caillou au sol). Nous voyons bien dans cet exemple qu'il est impossible de définir le concept d'Energie sans parler de celui de Travail et inversement. Ces concepts ne peuvent se comprendre et s'étudier que dans leur conjonction.

Bien d'autres exemples peuvent être cités pour illustrer cette nécessité de conjoindre plutôt que de disjoindre. Dans le cas qui nous occupe, nous posons la question de savoir quel est l'intérêt de séparer le « sujet » et « l'outil » ou le « sujet » et sa « communauté », comme l'a notamment fait Engeström dans son modèle. Ces constituants du système ne peuvent-ils pas être également perçus dans leur conjonction ? Bogdanov[138] (1920, p. 63 cité par Le Moigne 1999, p. 33) considère l'acte de joindre comme fondamental, celui de disjoindre comme dérivé ; « le premier est direct, le second est résultant : tout commence par l'acte de joindre ».

Revenons un instant sur l'approche anthropocentrée des techniques de Rabardel (1995) vue au paragraphe 2.2.5. Ne vise-t-elle pas aussi à dépasser ce dualisme matière/esprit pour aborder le développement cognitif du sujet en l'inscrivant dans son environnement social et matériel ? Piaget et Vygotski ont d'ailleurs travaillé ensemble au dépassement d'une vision dualiste et cartésienne (matière/esprit) en situant le mécanisme de la pensée et de son développement à la croisée d'une boucle extérieur/intérieur, milieu/sujet.

Pour Bogdanov (1920, p. 63 cité par Le Moigne 1999, p. 33), « les deux actions concevables de l'homme dans la nature qu'il s'agisse des actions pratiques ou des actions cognitives, sont de joindre et de disjoindre. […] Joindre son corps ou son attention au système à considérer ; y appliquer un effort conscient, ce qui est encore une conjonction. Il en va de même de la cognition : aucune distinction n'est possible sans une comparaison préliminaire, ce qui est encore un acte de conjonction. La disjonction, là aussi est secondaire ».

Bateson (1977, p. 275) renforce à son tour l'idée d'inséparabilité du « sujet » et de l'« outil ». Pour ce faire, il prend l'exemple d'un aveugle et de sa canne (son outil) qui lui sert à se diriger. « La canne est tout simplement une voie [dit-il] au long de laquelle sont transmises les différences transformées, de sorte que couper cette voie c'est supprimer une partie du circuit systémique qui détermine la possibilité de locomotion de l'aveugle ». Michel Serres (2015) partage aussi cet avis dans une métaphore dite de « la tête de St Denis ». Il fait une analogie entre « notre tête » et « notre ordinateur ». Nous avons, dit-il, « notre tête entre nos mains » puisque nous sommes plus que jamais dans une logique d'externalisation de nos fonctions cognitives en direction d'outils capables de mémoriser et traiter à notre place l'information. Ces outils en deviennent une partie de nous-même (notre tête est entre nos mains) et donc inséparables : le sujet et l'outil ne font plus qu'un.

Mais que faut-il alors penser de tous ces modèles qui se revendiquent pourtant de nature systémique et qui, comme nous l'avons nous-même fait, ne représentent que les constituants d'un système reliés entre eux par des relations ? Le Moigne (1999, p. 7) en donne une explication : « entre 1960 et 1980, de nombreux traités exposèrent, sous le nom d'Analyse des Systèmes (le pluriel importe), une méthodologie de la modélisation analytique dissimulée sous un jargon systémique qui put, un temps, faire illusion : avant que l'on ne convienne que cette analyse des systèmes ne se prêtait qu'à la modélisation de systèmes fermés, compliqués mais pas complexes. Mais depuis 1975 environ, on peut considérer que la systémique et les sciences fondamentales de l'ingénierie commencent à émerger de leur phase initiale de conceptualisation et de maturation épistémologique, pour entrer dans une phase proprement

[138] Alexander Bogdanov « publia à Moscou, entre 1913 et 1920, les trois tomes d'une Science universelle de l'organisation, ou tectologie, qui semble bien devoir être reconnue aujourd'hui comme le premier traité complet de systémique générale ! Quelques traductions en anglais de ce texte introuvable deviennent disponibles depuis 1980 et l'on rapporte que les autorités soviétiques commencent depuis peu à autoriser son examen ! « (Le Moigne, 1994, p. 10)

instrumentale et méthodologique : il devient dès lors possible de présenter la modélisation systémique dans son originalité, sans l'enrober des atours de la modélisation analytique pour tenter d'améliorer sa respectabilité ».

C'est donc à l'insu des utilisateurs, très souvent « de bonne volonté scientifique » comme le souligne l'auteur (1994, p.8), « que l'usage des concepts "analyse de système", "approche système", "application de la théorie des systèmes", les a conduits presque toujours à s'exercer à une modélisation analytique qui n'avait de systémique que le nom. Ceci faute d'accoutumance à ces exercices de critique épistémique interne qui devraient être familiers à toute activité de type scientifique et technique. Il n'est pourtant pas difficile de se demander d'abord "Qu'est-ce que cela fait, dans quoi, pour quoi, devenant quoi ?" plutôt que de se demander d'abord "De quoi c'est fait ?" ».

5.2.2.5 Pour une approche fonctionnelle et non plus organique

Pour modéliser un ENA, nous avons donc pris le parti de ne porter qu'une attention *secondaire* à sa structure pour nous intéresser plutôt à « ce qu'il fait ». On représentera chacune de ses actions ou complexes d'actions par « une Boîte noire ou le Processeur Symbolique qui rend compte de l'action (Le Moigne, 1999, p. 46). Nous verrons au chapitre 6 et 7 que cette décision se vérifie dans les faits au moment d'entrer dans la modélisation : non par les objets mais par les fonctions (« diagramme fonctionnels » en OMT et de « cas d'utilisation » en UML). Il est aussi possible de vérifier que ce choix se confirme au niveau des simplifications nécessaires que nous aurons à faire sur les données à traiter. L'emploi de techniques statistiques descriptives multivariées visant à conjoindre intelligemment nos données sur des axes factoriels et produisant des classes (clusters) représentatives de populations spécifiques (que les dendrogrammes facilitent) témoigne une fois encore de l'adoption de cette logique conjonctive.

5.2.3 Parce que la théorie de la complexité se trouve au cœur de la conception connectiviste de l'apprentissage

Nous l'avons dit et montré à plusieurs reprises : lorsque qu'un modèle d'ENA est soumis à des variations trop importantes de ses conditions initiales (chapitre 4), l'ajustement du modèle censé le représenter (modèle d'apprentissage, pédagogique, de formation, …) devient très difficile voire impossible. C'est pour cela que nous avons proposé de changer de paradigme en choisissant celui de la *Modélisation systémique de la complexité* qui offre un cadre plus adapté. Nous abordons ici cette question du point de vue de la modélisation des formes d'apprentissage en réseau. Contrairement à l'EAD traditionnel où l'on cherche à reproduire au sein des ENA des situations significatives réelles susceptibles de favoriser les apprentissages, les professionnels des MOOC (concepteurs, chercheurs, enseignants,…) ou plus généralement des *OpenCourseWare* (OCW), posent implicitement l'hypothèse (connectiviste ?) que le sens des activités (pré)existe ; le défi de l'apprenant est de reconnaître les récurrences (les patterns) qui apparaissent comme cachées (Siemens, 2005) ; leur prise de décision en résulte. Si les conditions impliquant leur prise de décision changent, cette décision ne sera plus forcément correcte. Elle l'était au moment où ils la prenaient, mais ne le sera peut-être plus après ce changement (*Ibid.*). Le connectivisme est fondé sur l'idée que les stratégies que nous déployons pour apprendre reposent sur des modèles et contextes instables (dont les fondations sont mouvantes). Notre capacité à reconnaître et à ajuster nos stratégies aux changements de contexte est une tâche clé de l'apprentissage. Bateson (1977, p. 307) a merveilleusement bien formalisé ce changement dans la manière d'apprendre en fonction des signaux émis par le contexte, eux-mêmes dépendants des signaux émis par l'individu. Il établit trois niveaux

d'apprentissage tous rythmés par *un changement*, d'une sorte ou d'une autre. « Le changement peut définir l'apprentissage » dit-il. « Le mot "apprentissage" indique indubitablement un *changement*, d'une sorte ou d'une autre. Mais il est très difficile de dire de quelle *sorte* de changement il s'agit […]. Le changement implique un processus. Mais les processus eux-mêmes sont exposés au changement » (Bateson, 1977, p. 303). Nous avions déjà posé l'hypothèse (Trestini, 2005, p. 66) que se former dans un ENA devait être « hautement » facilité par l'acquisition d'un niveau 3 batesonnien. Revenons un instant sur ces trois niveaux fondamentaux, lesquels n'ont pas pris une ride eu égard aux contextes d'apprentissages qui retiennent ici notre attention.

Bateson (1977, p.307) développe l'idée selon laquelle tout apprentissage est dans une certaine mesure « stochastique » (c'est-à-dire qu'il contient des séquences d'essais et erreurs). Il introduit un apprentissage de niveau I correspondant à un changement dans la spécificité de la réponse à travers une correction des erreurs de choix, à l'intérieur d'un ensemble de possibilités. Dans un contexte d'apprentissage de niveau I, l'individu apprend donc et corrige ses actions, ses choix, fort de ses erreurs à l'intérieur d'un ensemble de possibilités (un cadre conceptuel donné).

L'apprenant recherche des contextes ou des séquences d'un certain type plutôt que d'un autre. *Apprendre à apprendre* (niveau 2 batesonnien) devient cette acquisition d'habitudes abstraites de pensée. Le sujet a acquis un certain talent, une certaine habileté dans l'apprentissage I. L'apprentissage II est ce changement dans le processus d'apprentissage I : il a appris à apprendre. Il réagira ainsi mieux et plus vite. L'apprentissage II ne sera *adaptatif* que si le sujet ne se trompe pas dans l'appréciation du modèle de contingence qu'il rencontre. Puis, l'apprentissage de niveau II installe dans le temps un certain confort cognitif, une habitude mentale. L'effort est moins sollicité. Un renforcement au niveau II permet une économie de la pensée.

Mais *si l'environnement informatif change*, le cadre conceptuel change également, modifiant l'ensemble des possibilités de choix. Cette habitude d'agir dans un contexte donné est alors remise en question, parfois même douloureusement, puisqu'il s'agit de se débarrasser d'une habitude qui fonctionnait bien avant la modification de l'environnement. Ce changement dans l'apprentissage II, permettant d'accéder à de nouvelles routines ou au remplacement d'une routine existante, caractérise le niveau III. Quand il s'agit d'un remplacement, il fait souvent suite à des contradictions engendrées au niveau II, contradictions d'autant plus grandes que l'habitude mentale est ancrée (puis a duré dans le temps). Pour éviter l'« effet douloureux » d'un tel remplacement, il est possible de limiter son apprentissage II. Le remplacement de l'habitude qui s'avère inefficace se fait moins brutalement par la perception d'indicateurs de contexte de contextes. « Cette restructuration des croyances de l'entité considérée » (Ancori, 2001, p.20) est un changement dans le processus d'apprentissage donc un apprentissage lui-même. Il s'agirait « d'apprendre à apprendre à apprendre » et ceci en reconnaissant des métamétamessages.

Ainsi seraient les capacités nouvelles que les apprenants développeraient, ou seraient conduits à développer, dans un ENA de dernière génération ; c'est du moins l'hypothèse que nous formulions. Les connaissances acquises par ce biais sont ensuite « dispersées » aux quatre coins des réseaux numériques. Il devient alors plus facile de s'orienter dans cette complexité et de réassembler ces connaissances en cas de besoin, une fois acquis de telles compétences métacognitives. La connaissance personnelle est en effet devenue peu à peu un réseau de connaissances qui se nourrit dans les organisations et les institutions, qui à son tour se nourrissent du retour du réseau et qui continue à alimenter l'apprentissage de la personne (Siemens, 2005). « Ce cycle de développement des connaissances (personnel au réseau pour

l'organisation) permet aux apprenants de demeurer à jour dans leur domaine à travers les connexions qu'ils ont formées » (*Ibid.*).

Pour Siemens (2005), « le connectivisme est l'intégration des principes explorés par *les théories du chaos*, des réseaux, *de la complexité et de l'auto-organisation*. L'apprentissage est un processus qui se produit dans *des environnements nébuleux* dont les éléments principaux changent, sans être pour autant entièrement sous le contrôle de l'individu »[139].

Ainsi, « le connectivisme s'inscrit dans plusieurs phénomènes spécifiques aux activités professionnelles actuelles : le chaos (tout est en lien), la complexité, les réseaux et l'auto-organisation. Ce qui constitue le cœur de la théorie du connectivisme c'est le rôle des liens et des flux entre les individus et les ordinateurs qui les accélèrent et pas exclusivement le contenu des connaissances » (Cristol, 2012).

5.2.4 Analogie conceptuelle entre la M.S. de la complexité et la M.S. de l'activité

Nous souhaitons montrer rapidement ici qu'il existe une analogie conceptuelle entre ces deux théories qui nous conforte dans l'idée d'appliquer la théorie de la complexité et ses langages de modélisations à l'analyse des systèmes d'activités instrumentés comme le sont les ENA de dernière génération.

Si l'on observe attentivement les modèles issus *des théories de l'activité* (Cf. § 2.2.5), de Vygotski (1934, 1997), Leontiev (1976), Engeström (1987), etc… nous constatons qu'ils traitent tous de *l'activité humaine comme d'un système qui fait et se transforme en faisant*. Cela se traduit concrètement par la réalisation d'une succession *d'opérations* fonctionnelles regroupées en un ensemble d'actions formant *des activités* pour réaliser des *tâches*.

Citons un court extrait du contenu d'un cours d'Augusto (2013, p. 6) dispensé à l'école des Mines de Saint-Étienne sur la *Modélisation de systèmes complexes* pour comparer son approche à la précédente : « Le système est appréhendé au niveau macroscopique à travers l'ensemble *des processus* concurrents à l'œuvre et au niveau microscopique par l'ensemble des *actions élémentaires* réparties dans le temps et l'espace. Ces opérations fonctionnelles peuvent être regroupées en ensembles *d'actions* formant *des activités* pour réaliser *des tâches :* trois concepts fondamentaux (du général à l'atomique) : le *processus*, *l'activité*, l'*opération* ».

Faut-il insister sur les associations qu'il est possible d'établir entre ces deux formulation de l'activité ? Chacune décline trois niveaux hiérarchiques sensiblement identiques deux à deux au sein d'une même activité, même s'il est vrai que les frontières entre ces niveaux demeurent parfois poreuses ou mouvantes dans chacun des cas…

Nous sommes conscients qu'il n'est pas possible de généraliser à partir d'un seul exemple. Mais il serait assez facile d'en trouver d'autres et de montrer que les deux approches sont sensiblement équivalentes.

Simonian (2015, p. 58) relève par exemple que « l'activité ne se réduit pas à l'action : la première nécessite une *approche holistique* de médiations culturelles impliquant une dimension collective et surtout coopérative alors que la seconde se focalise sur un seul individu » ; ce sont là aussi des caractéristiques propre à la Modélisation systémique de la

[139] « Connectivism is the integration of principles explored by chaos, network, and complexity and self-organization theories. Learning is a process that occurs within nebulous environments of shifting core elements – not entirely under the control of the individual » (Traduction de l'auteur).

complexité. Mieux encore, pour Engeström (2011, p. 171 cité par Simonian 2015, p. 58)[140], « l'activité implique des actions individuelles, elle n'est en aucune façon réductible à la somme des actions individuelles ». N'est-ce pas là une autre façon de présenter le concept d'*émergence* propre à ma Modélisation systémique de la complexité qui peut être grossièrement résumé par l'adage : « le tout possède parfois davantage de possibilités que la seule somme de ses parties ». Une propriété peut en effet être qualifiée d'émergente si elle « découle » de propriétés plus fondamentales tout en demeurant « nouvelle » ou « irréductible » à celles-ci[141] ?

Il nous semble que le dénominateur commun entre ces deux approches est précisément cette « activité » à laquelle nous substituerions volontiers le concept plus fédérateur de « *Praxis* » qui n'a pas d'autre but que l'accomplissement de l'homme (art, politique, musique, connaissance), sa propre transformation, à travers la transformation du milieu naturel et des rapports sociaux, et ordonné par un résultat. Cet accomplissement n'est autre qu'un phénomène émergeant comme l'est l'âme ou la pensée et même *la connaissance*. Le modèle établi par Y. Engeström (1987) constitue, à notre connaissance, l'une des dernières évolutions majeures du cadre théorique de la théorie de l'activité.

5.2.5 Pour modéliser ces environnements avec des langages adaptés

5.2.5.1 Une interprétation commune du concept de « processus »

Nous avons rappelé aux paragraphes 3.4.1 et 3.4.2 l'évolution des modèles successifs d'ingénierie pédagogique (EML) et de formation visant à *scénariser* respectivement des situations d'apprentissage et des dispositifs de formation. « Avec l'évolution des théories d'apprentissage et la montée croissante des TIC dans l'enseignement, le scénario est devenu un outil indispensable pour guider le travail de l'enseignant et de l'apprenant. Cet outil occupe une place centrale dans les environnements informatisés » (Henri, Compte et Charlier, 2007, p. 16). Qu'ils soient d'ingénierie « pédagogiques » ou de « formation », ces modèles ont en commun que ce sont « des outils exploratoires qui aident les concepteurs à définir les contours d'un EIAH ; ces langages permettent aussi aux différents acteurs d'échanger des points de vue au sein d'une équipe de développement pour aboutir à une solution viable » (Nodenot, 2007, p. 85).

Nous reconnaissons dans le modèle canonique d'Oubahssi et Grandbastien (2007) explicité au paragraphe 3.4.2 (lequel fait référence à la norme ISO 9000) une frappante analogie conceptuelle avec le modèle systémique de la complexité autour des concepts de « Processus » et de « Processeur ». Au niveau de ISO 9000, *un processus* est représenté par un *processeur* et défini « comme un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie » (Ibid., 2007), alors que dans la modélisation systémique de la complexité, *un processus* peut être représenté par un système d'actions multiples ou par un *processus* qui peut être un enchevêtrement de *processus* que l'on représentera systématiquement par *la boîte noire*. Il est aussi défini « par son exercice et son résultat (un « implexe » donc) » (Le Moigne, 1999, p. 46).

---

[140] Voir aussi : Dir et Simonian (2016).

[141] Emergence (2016, mise à jour le 18 septembre). Dans *Wikipédia*. Récupéré de : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89mergence

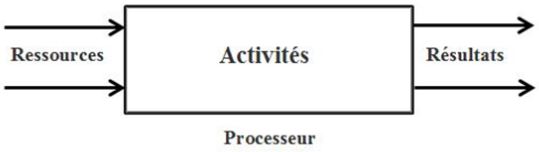


Figure 44. Modèle ISO de processus (norme ISO 9000).

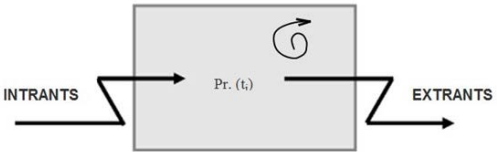


Figure 45. Modèle de Processeur de la M.S.

Pour Oubahssi et Grandbastien (2007), « les éléments d'entrée d'un processus forment généralement les éléments de sortie d'un ou de plusieurs autres processus. Chaque processus est décrit à un premier niveau par ses données d'entrée et ses données de sortie, résultat du processus. Plusieurs processus peuvent se produire dans le cycle de vie d'un produit. Les processus qui entrent dans le cycle de vie d'un produit décrivent l'ensemble des moyens et activités liés qui transforment des éléments entrants en éléments sortants. Ces moyens peuvent inclure le personnel, les finances, les installations, les équipements, les techniques et méthodes. La figure 44 représente de façon simple un processus »

Pour Le Moigne (1999, p. 48), « on convient de désigner par un processeur Pr, le symbole de la Boîte noire par lequel on représente *un processus* (Figure 45). Chaque processeur Pr peut être caractérisé à chaque période t_i par les valeurs attribuées à ses *Intrants* et à ses *Extrants* (intrants et extrants sont décrits par des vecteurs, dont les composantes sont désignées par le modélisateur se référant à son projet de modélisation) » […]. « L'identification *a priori* des N processeurs et des couples Intrants et Extrants par lesquels on les caractérise n'est pas donnée par le problème que considère le modélisateur » (Ibid. p.54). Ce sera donc en partant des projets que nous aborderons le processus de conception du modèle. Ce dernier se construira par itérations successives « entre les projets et les représentations symboliques que s'en construit le modélisateur » (Ibid. p. 54).

Pour conclure sur ce point, nous faisons le constat que le concept central de *processus* qui se trouve au cœur de la Modélisation systémique de la complexité ne vient pas en tension avec celui de l'ingénierie pédagogique (et/ou de formation) traditionnelle ; aucun caractère antinomique n'est *a priori* décelée.

5.2.5.2 La modélisation orientée objet pour modéliser la complexité

Au-delà des aspects théoriques développés jusqu'à présent visant à montrer l'intérêt d'appliquer la théorie de la complexité à la modélisation d'ENA de dernière génération, nous tenions à proposer un prolongement concret à ce projet. Nous entendions par-là mettre en application la démarche préconisée en développant des modèles pour la recherche. Il nous fallait pour cela adopter *un langage de modélisation*, mais pas n'importe lequel évidemment : un langage en adéquation avec les conceptions épistémologiques de la M.S., mais qui soit aussi capable de relever les défis que nous nous étions fixés.

Après réflexion, nous nous sommes d'abord tournés vers une « technique » de modélisation puis dans un deuxième temps vers un langage de modélisation propre à cette technique. Il s'agit de celle de la modélisation « orientée objet » et en particulier l'OMT (*Object Modeling Technique*) de Rumbaugh[142] *et al.* (1995). Nous l'avons choisie car elle suit les « grands

[142] J. Rumbaugh, Modélisation et conception orientées objet, Paris, New York et Barcelone, Edition française revue et augmentée, Masson, 1994. James Rumbaugh est le créateur du langage de « modélisation orienté objet ». Il est également l'un des trois pères du langage UML, avec Grady Booch et Ivar Jacobson. (Source : l'encyclopédie en ligne Wikipedia).

principes » de la théorie des systèmes complexes en proposant à la fois une représentation fonctionnelle du système (le système « fait ») et une représentation dynamique (le système « devient »), constructibles de manière synchrone, sans ordre établi (le système « fait et devient en faisant »).

Nous allons justifier point par point ce choix important (celui de la « technique » OMT de modélisation) avant de préciser le langage de modélisation orienté objet que nous avons retenu. Le choix du *langage* de modélisation étant une conséquence directe de la « technique »[143] employée, il sera aisé de le justifier, d'autant qu'il a été en partie l'œuvre du même auteur (James Rumbaugh) que la technique choisie.

Le premier avantage de la modélisation orientée objet est qu'elle est *visuelle* et permet de modéliser un ENA à la fois pour l'analyser mais aussi pour le concevoir. C'est donc en quelque sorte un produit « tout en un ». Par ailleurs, la modélisation orientée objet est aussi fondée sur une démarche exploratoire et participative (que nous recherchions absolument) permettant au modélisateur de connaître très tôt les besoins des utilisateurs en échangeant des points de vue en permanence avec eux (processus itératif) à l'aide d'un support compréhensible de tous (caractère d'intelligibilité propre à la M.S.)

Une des caractéristiques de la modélisation orientée objet qui pouvait être perçue *a priori* comme un obstacle est qu'elle est souvent présentée comme étant une démarche qui s'oppose à la « modélisation par décomposition fonctionnelle », ce qui peut être gênant vis-à-vis du concept de base de la Modélisation systémique qui est l'action. « La M.S. part de la question "*Qu'est-ce que ça fait ?"* : quelles sont *les fonctions* et les transformations, ou opérations assurées ou à assurer » (Le Moigne, 1999, p. 46) ? Mais à y regarder de plus près, ce n'est pas *l'aspect fonctionnel* qui est remis en cause dans la démarche orientée objet mais plutôt la *décomposition artificielle* de la fonction globale du système en fonctions plus simples à appréhender ou à programmer. Autrement dit, la modélisation orientée objet n'interdit pas d'entrer dans le projet par les fonctions, mais elle s'oppose à toute segmentation hiérarchisée et artificielle, comme le fait d'ailleurs la M.S. vis-à-vis de la M.A. Au contraire, la modélisation orientée objet recommande d'entrer dans le projet de modélisation en se demandant précisément « *à quoi il sert ?* » ou « *à quoi il devra servir* », c'est-à-dire à quels besoins il répond ou devra répondre. C'est pourquoi cette démarche préconise de modéliser les besoins avant toute chose, de faire l'inventaire des fonctionnalités, de les organiser entre elles de manière à faire apparaître leurs interrelations.

Nous nous devions également de clarifier le concept « d'objet » qui pouvait être perçu par les tenants de la M.S. comme inadapté à une conception systémique de la modélisation. Pour illustrer cette réticence, citons un passage de Le Moigne (1999, p. 46) qui se veut volontairement provocateur vis-à-vis de notre argumentaire: « le concept de base de la M.S. n'est pas l'objet, […] mais l'action [..] ». Pourquoi alors avoir choisi une technique de modélisation orientée objet ?

Du côté de la M.S., Simon[144](1969), cité par Lecas (2006, 52 de paragraphe) insiste sur la réalité tangible des « objets » produits par les sciences de l'ingénierie : l'ordinateur, le compte d'exploitation, le budget prévisionnel sont des objets comme les autres, et donc des objets d'études scientifiques. Mais il précise aussitôt qu'il va tirer profit du fait que *ces objets sont définis comme le résultat d'un projet identifiable* pour inverser le mode de connaissance : au

---

[143] En réalité cette technique est aussi un des premiers *langages* de modélisation. Mais comme il a été appelé Technique par son concepteur, nous décidons de conserver cette formulation pour ne pas compliquer inutilement les choses.

[144] Les sciences de la conception, titre du chapitre central de Sciences de systèmes, sciences de l'artificiel. Dans H-A. SIMON (1969), Sciences des systèmes, Sciences de l'artificiel, Afcet systèmes, Dunod, 1990, trad. par J-L. Le Moigne.

lieu de décortiquer l'ordinateur, le budget pour découvrir les lois naturelles qui régissent leur comportement, il propose de modéliser le processus cognitif par lequel a été élaboré le projet qui les définit et qui explique les comportements possibles et intentionnels et non plus nécessaires et déterminés ». C'est précisément le sens que donne Le Moigne au concept de base de la M.S. lorsqu'il évacue de la M.S. l' « objet » pour privilégier l' « action ».

De son côté, dans la modélisation orientée objet, l'« objet » est tout sauf un constituant du système tel que se le représente la modélisation analytique (M.A.). C'est un concept qui rassemble (approche conjonctive) dans une même entité (qui peut être artefactuelle, naturelle ou humaine) *des actions* et des *informations* au lieu de les séparer. Cette approche est très différente d'une approche analytique conventionnelle dans laquelle les structures des données et le comportement ne sont souvent que faiblement associés.

Avant de clore cet argumentaire portant sur les conditions d'adaptabilité de la modélisation orientée objet à la M.S., remarquons pour conclure que la démarche OMT suit remarquablement bien les principes fondamentaux de *l'approche itérative et incrémentale* préconisée par la M.S., caractérisée en particulier *par les sept niveaux de complexification* de Boulding (1967). A titre d'exemple, dans la modélisation OMT, dès qu'apparaissent des actions qui nécessitent des « décisions », leurs traitements ne sont jamais représentés immédiatement dans le modèle. Ils le seront dans les étapes ultérieures, dès que le système de décision aura été construit. Et pour se souvenir de ces actions (qui attendent des décisions), elles sont représentées, comme le suggèrent les auteurs (Rumbaugh *et al.*, 1995, p. 181), par des traits en pointillés (Cf. Figure 65).

5.2.5.3 Choix d'UML comme langage de modélisation

Fortement basé sur le paradigme de la modélisation « orientée objet », le langage UML (*Unified Modeling Langage*) nous semblait parfaitement convenir aux besoins exprimés jusqu'à présent. Nous l'avons donc rapidement adopté, d'autant que James Rumbaugh, fondateur d'OMT, est aussi « l'un des pères d'UML (avec Grady Booch, fondateur du langage Booch et Ivar Jacobson, fondateur du langage OOSE) »[145]. « *Unified* » signifie qu'UML résulte de la fusion de ces précédents langages, tous « orientés objet ». UML est à présent un standard adopté par l'Object Management Group (OMG).

Dans le détail, c'est un langage de modélisation graphique qui, à partir de pictogrammes, permet de visualiser un système en fonctionnement. Il n'est pas une méthode puisque chacun est libre d'utiliser les diagrammes qu'il propose comme bon lui semble. Il ne préconise donc aucune démarche. Chacun utilise les types de diagramme qu'il souhaite, dans l'ordre qu'il veut ; il suffit que les diagrammes réalisés soient cohérents entre eux avant de passer éventuellement à un développement (pour concevoir ou simuler). Il est en effet possible dans un deuxième temps de passer de « la représentation » du système (le modèle) à « l'exécutable ». Utilisable tout autant par l'homme que par la machine les représentations graphiques disposent de qualités formelles suffisantes pour être traduites automatiquement en code source (développement en Java, en Python, en C++, etc.). UML est officiellement né en 1994 alors qu'UML version 2.0 date de 2005. Il s'agit d'une version majeure apportant des innovations radicales et étendant largement le champ d'application d'UML. La dernière version officielle selon l'OMG (Object Management Group)[146] est UML 2.5 (mars 2015).

---

[145] Object modeling technique (2016, mis à jour 28 juillet). Dans *Wikipédia*. Récupéré de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Object_modeling_technique

[146] Les spécifications OCL 2.5 sont disponibles en téléchargement depuis le lien suivant : http://www.omg.org/spec/UML/2.5/

Voici quelques logiciels présents sur le marché[147]: StarUml, ArgoUml, BoUml, PowerDesigner, etc. De notre côté, nous avons utilisé ArgoUml 0.34 pour les quelques illustrations sommaires du chapitre 6 et StarUml 2.7.0 pour une représentation plus « formelle » notamment dans la perspective d'aboutir au développement de la simulation du chapitre 8 (volet pratique).

UML propose une quinzaine de diagrammes (nombre variant en fonction des versions) regroupés en familles de diagrammes : « statique », « de comportement », « d'interaction ou dynamique » (*op. cité* : note 136). Nous n'allons toutefois pas tous les passer en revue. Précisons seulement que l'entrée dans la modélisation se fait généralement par les diagrammes des « cas d'utilisation » (le système fait) plutôt que par les diagrammes statiques (le système est) ce qui est une nouvelle fois conforme à la M.S. Du côté de la théorie des systèmes complexes, c'est en effet en commençant par l'identification des projets ou des intentions du système de modélisation que se construit le modèle. C'est en partant de ces projets que la M.S. va proposer d'amorcer le processus de conception du modèle. UML suit cette logique ; ce n'est qu'après les diagrammes de « cas d'utilisation », obtenus et construits à l'aide des données des interviews des utilisateurs, outils de tracking, tableau de bord, simulation (Cf. § 7.2), que les autres diagrammes seront déployés.

Par ailleurs, UML est un langage de description semi-formel qui possède un double avantage : celui de se présenter sous forme d'un ensemble de schémas assez vite compréhensibles et celui de pouvoir être transformé (via des outils logiciels) en langages de programmation (C, Java, Python, XML...)[148] ; il nous paraissait donc bien adapté à la formalisation de notre problème. Dans différents domaines ont en effet été créés des outils logiciels de transformation allant, par raffinements successifs, du modèle schématique UML vers des applications totalement formelles (une application informatique le plus souvent). Il nous semble donc que de tels outils pourraient servir à une équipe de pédagogues souhaitant se concerter autour d'un ensemble de diagrammes UML pour formaliser des situations d'apprentissages dans un ENA, l'outil se chargeant de transformer ces diagrammes visuels *via* une formalisation XML en une structure compilable (en vue d'une simulation par exemple ou une implémentation sur une plate-forme). Ceci implique bien sûr que l'équipe pédagogique maîtrise suffisamment le langage UML, ce qui n'est pas le plus difficile.

Nodenot, Laforcade et Le Pallec, (2007) ont repris par exemple les mécanismes offerts par UML pour proposer un langage visuel (CPM[149]) utile dans le cadre de la formation à distance « pour décrire le séquencement des activités, détailler les ressources échangées entre acteurs au cours de ces activités, identifier leur condition d'exécution en fonction des valeurs prises par les ressources ou des résultats des activités antérieures, etc. *Les diagrammes UML* sont également utilisés par ces langages pour exprimer notamment le cycle de vie des ressources et des activités ainsi que les événements significatifs des concepts décrits. […] Le processus de conception démarre par la production de diagrammes de *use cases*. Chaque diagramme est ensuite raffiné par d'autres diagrammes de *use cases* puis par un ou plusieurs *diagrammes d'activité* afin de décrire ce qui se déroule à l'intérieur d'une activité définie au niveau supérieur. Dans le cas *d'activités collaboratives*, chaque couloir *du diagramme d'activité*

---

[147] Un tableau comparatif est accessible à l'adresse suivante : https://manurenaux.wp.mines-telecom.fr/2013/09/26/comparatif-vous-cherchez-un-modeleur-uml/

[148] Pour la transformation, il est possible d'utiliser un langage XSL, qui permet d'associer du code (PHP, HTML, ou autre) à un élément XML, donc un élément UML. C'est-à-dire que pour un élément UML de forum, XSL peut le transformer en code d'un forum qui fonctionne (en HTML, PHP avec Base de données, par exemple), etc...

[149] « Des travaux préalables ont été menés afin de proposer un langage, CPM (Cooperative Problem-based learning Metamodel), exploitant la richesse graphique proposé par UML (Unified Modeling Language). CPM est alors construit sous la forme d'un profil UML. Il se positionne au niveau des phases de conception en amont des EML (*Educational Modeling Language*) (Laforcade, 2005, p.213).

permet de déterminer les tâches spécifiques conduites par un acteur ainsi que le séquencement de ces tâches. À chacun des niveaux d'abstraction, des *diagrammes de classes* et des *diagrammes états-transitions* permettent de caractériser/préciser les éléments de modélisation mis en évidence dans les autres diagrammes » (Nodenot, 2007, p. 92).

5.2.6 Pour s'inscrire dans une démarche prospective

L'étude des propriétés émergentes qui caractérisent tout système complexe (§ 5.1.1.5) nous a permis de rappeler qu'une cause, aussi petite soit-elle, peut avoir un effet considérable sur le comportement d'un système complexe. Comme le dit Henri Poincaré (1854-1912, cité par Rochet, 2013a) lorsqu'il posa les bases de la théorie du chaos en étudiant *le problème des trois corps*, « si nous connaissions exactement les lois de la nature et la situation de l'univers à l'instant initial, nous pourrions prédire exactement la situation de ce même univers à un instant ultérieur. Mais, alors même que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la situation qu'approximativement. Si cela nous permet de prévoir la situation ultérieure avec la même approximation, c'est tout ce qu'il nous faut, nous disons que le phénomène a été prévu, qu'il est régi par des lois ; mais il n'en est pas toujours ainsi puisqu'il peut arriver que de petites différences dans les conditions initiales en engendrent de très grandes dans les phénomènes finaux ; une petite erreur sur les premières produirait une erreur énorme sur les derniers. La prédiction devient impossible et nous avons le phénomène fortuit ».

Mais comment prédire alors des événements sans connaître les règles qui nous disent comment le système va changer, même approximativement ? Pour ce faire, nous expliquions au paragraphe 5.1.1.3 qu'il nous fallait d'abord être placé dans un système dont le niveau de complexité se situe entre deux extrêmes : une complexité dite *algorithmique* (c'est-à-dire que les règles qui nous disent comment le système va changer sont connues de l'homme car construit par lui) et une complexité totalement naturelle (comportement *chaotique* dont les règles ne sont absolument pas connues de l'homme). De manière plus formelle, c'est lorsque la complexité du système, mesurée par la quantité d'information du système au sens shannonien du terme, est intermédiaire, à prédictibilité et à probabilité moyennes : *un mélange de savoir et d'ignorance*. Et c'est bien le cas des ENA qui se trouvent précisément entre ces deux extrêmes : « le cristal » et la « fumée », dirait Atlan (1979).

La complexité est non seulement le résultat « du degré de variété des éléments qui le constituent » (Atlan, 1979, p. 45) mais aussi « le résultat du grand nombre d'états que peut prendre un système, compte tenu des interrelations que peuvent bâtir ses parties. Ces états ne sont pas prévisibles par analyse déterministe dès lors que le système est ouvert. Beaucoup de ces états sont émergents » (Rochet, 2013b). Pour s'inscrire dans une démarche prospective, il faut donc procéder à la construction de *modèles statiques* qui vont représenter *la variété des composants* du système et à la construction de *modèles dynamiques* qui vont représenter *les différents états possibles* de ses constituants. Les phénomènes émergents seront ainsi révélés par modélisation et simulation du système.

C'est une activité très chronophage car si les propriétés émergentes ne peuvent s'expliquer à partir des caractéristiques des parties prises isolément, ces dernières doivent néanmoins être connues et modélisées. Les propriétés du complexe d'actions n'apparaîtront comme « nouvelles » ou « émergentes » qu'à cette condition.

L'enjeu d'une démarche prospective est aujourd'hui vital pour notre société qui vit dans un monde fort complexe. Que cette démarche soit conduite à des fins politiques, économiques, sociales ou simplement cognitives, elle nous conduira *in fine* à « adopter des principes de précaution et d'écologie, une politique tournée vers l'avenir tenant compte de notre fragilité,

des limitations de nos ressources et des équilibres vitaux » (Zin, 2003). Notre ouvrage sur l'appropriation des MOOC en France (Trestini *et al.*, 2016) témoigne de ce besoin vital de posséder ces quelques éléments de prospective pour conduire une politique en termes de développement du numérique au plan national voire international, que ce soit pour se lancer dans l'aventure des MOOC ou dans des plans d'équipement (en iPad par exemple) des écoles et collèges. Nous avons conduit cette démarche prospective à plusieurs reprises dans des projets évidemment liés au développement des MOOC en France (Chapitre 9) mais aussi dans d'autres domaines comme par un exemple dans un projet d'envergure diligenté par la DGSIP sur « l'Articulation et complémentarité des équipes pédagogiques et des services de documentation au cœur de la rénovation pédagogique » (Chalmel, Chevry, Frisch, Gossin, Kennel, Paivandi, Trestini, Weisser, 2016). Nous avons en particulier étudié la contribution des *Learning Center* dans cette collaboration sur l'ensemble du territoire en recherchant « les tendances lourdes » propres aux démarches prospectives ; le but étant d'orienter l'action au niveau du ministère. Cette recherche servira aussi à la création d'un guide pour faciliter les collaborations entre enseignants et services des bibliothèques.

La démarche prospective vise donc à se préparer aujourd'hui à demain. Elle ne consiste pas à prévoir l'avenir (ce qui relevait de la divination) mais à élaborer des scénarios plausibles dans leurs perceptions du moment sur la base de l'analyse des données disponibles (états des lieux, tendances lourdes, phénomènes d'émergences).

6. Modélisation d'un « ENA » perçu comme un système complexe

Nous venons d'expliquer plus haut que c'est parce que nous percevons les ENA de dernière génération comme des phénomènes complexes (par exemple un MOOC) que nous choisissons de les étudier en nous référant à la théorie de la modélisation des systèmes complexes. Intéressons-nous à présent aux différentes étapes de cette modélisation et à son *instrumentation* (Cf. Volume 2 : 3, 6) .

Selon la théorie de la modélisation systémique, modéliser un système complexe consiste tout d'abord à modéliser un système d'actions synchroniques[150] (qui fonctionnent), diachroniques[151] (qui se transforment en fonctionnant), téléologiques (qui ont une finalité, un but) et récursives (autonomisation) dans un environnement actif. La modélisation systémique passe également par le respect d'une logique conjonctive qui vise à joindre et non disjoindre d'une part les concepts d'*« Environnement Actif »* et de *« Projet* ou de *Téléologie »* et d'autre part ceux de fonctionnement synchronique « *le Faire* » et de transformation diachronique « *le Devenir* ».

La *procédure cybernétique* caractérise la conjonction des deux premiers concepts ; la *procédure structuraliste* la conjonction des deux derniers. Le concept de *Système Général* (SG) résulte quant à lui de la conjonction de ces deux concepts supports de procédures modélisatrices, à savoir la *procédure cybernétique* et *structuraliste*.

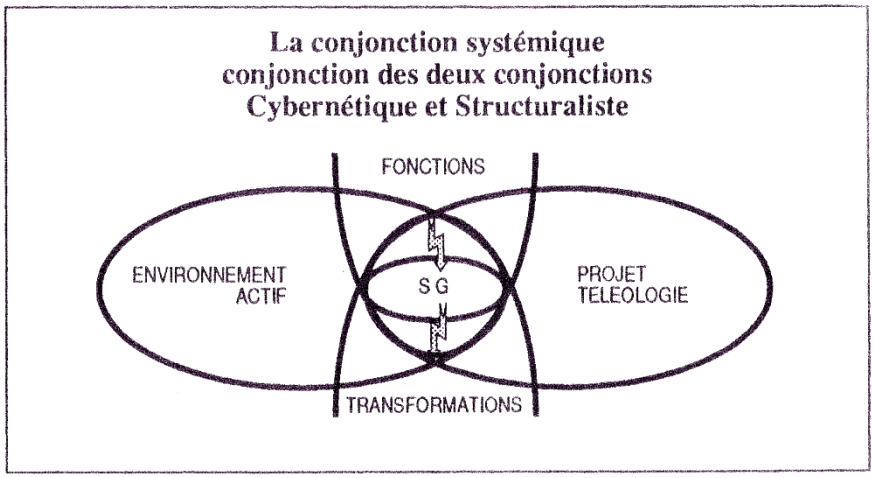


Figure 46. La conjonction systémique (Le Moigne, 1999, p.40)

La conjonction systémique propose donc « de tenir pour inséparable *le fonctionnement et la transformation d'un phénomène, des environnements actifs* dans lesquels il s'exerce et *des projets* par rapport auxquels il est identifiable » (Ibid., p.40).

« Tout système complexe peut donc être représenté par *un système d'actions multiples* ou par *un processus* qui peut être enchevêtrement de processus. Celui-ci peut être représenté par la désignation *des fonctions* identifiables qu'il exerce ou peut exercer » (Le Moigne, 1999, p.48).

[150] Désigne les phénomènes ou processus se produisant en même temps, ne se succédant pas. (source : Le petit lexique des termes de la complexité du « Réseau Intelligence de la complexité » http://www.intelligence-complexite.org/fr/documents/lexique-de-termes-de-la-complexite.html

[151] Adjectif signifiant ce qui se prolonge, évolue ou se transforme dans le temps (par opposition à *synchronique).* Même source que ci-dessus.

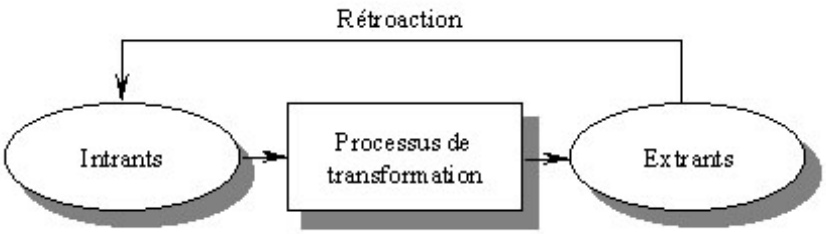


Figure 47 : Identification du processus

La Modélisation Systémique (M.S.) ne commence donc pas à représenter des choses, des objets, des individus, des organes, comme on le fait en Modélisation Analytique (M.A.), mais une action (caractérisée par un processus) qui peut être un enchevêtrement d'actions (ou un complexe d'actions) que l'on représentera systématiquement *par la boîte noire* (ou par un Processeur Symbolique)[152] qui rend compte de cette action ou de ce complexe d'actions. C'est le concept de base de la modélisation Systémique (M.S)[153] que de partir de ce que « le système fait » autrement dit des fonctions et des transformations ou encore des opérations assurées ou à assurer. Mais « l'identification *a priori* des N processeurs et des couples Intrants et Extrants par lesquels on les caractérise n'est pas donnée par le problème que considère le modélisateur » (*Ibid.* p.54). Ce sera donc en partant des projets que nous aborderons le processus de conception du modèle. Ce dernier se construira par itérations successives « entre les projets et les représentations symboliques que s'en construit le modélisateur » (*Ibid.* p. 54).

6.1 DES PROCESSUS FINALISES ET RECURSIFS DANS UN ENVIRONNEMENT ACTIF

6.1.1 Des processus (fonctions) finalisés identifiables

Dans un premier temps, le modélisateur dispose d'une perception grossière du monde à modéliser. Cette première étape de la modélisation systémique de la complexité correspond au *premier niveau du modèle archétype* de l'articulation d'un système complexe en neuf niveaux décrit en détail au paragraphe 5.1.2.2. Sa perception d'abord syncrétique du système ou du phénomène à modéliser ne lui permet pas d'en percevoir les détails. Il fixe alors son contour, ses frontières[154] avec le monde extérieur et examine sa fonction globale qu'il énoncera par la suite. La finalité du projet sera décrite dans sa dimension dynamique. Sans entrer dans les détails de cette description qui dépend forcément du type de projet à modéliser[155], rappelons que la fonction principale d'un ENA et de permettre à l'apprenant d'acquérir des connaissances et de développer des compétences à travers l'usage d'un environnement numérique. Des variantes à cette description générale se justifieront dès lors que l'ENA sera considéré ou non par le modélisateur comme un ENA de nouvelle génération. Dans l'affirmative, il devra postuler de sa complexité et décrire ce qui caractérise sa fonction. Dans le cas d'un MOOC par exemple, la modélisation sera forcément différente que celle d'un

[152] En termes de technique de modélisation, un processeur actif est symbolisé par la boîte noire.

[153] Rappelons que la M.A. agit autrement. Elle part de la structure du système, de l'identification des organes, des composants du système, autrement dit elle s'assigne pour mission d'expliciter la composition du système, de répondre à la question « de quoi est-il fait ? », quel en sont les constituants ?

[154] Ce pourrait être « ce monde » dans le cas d'un MOOC, par exemple.

[155] A la création d'ITyPA par exemple seul le projet était réellement significatif. Tout « le monde » avait bien conscience qu'il n'y avait quasiment rien au niveau des contenus et que tout était à construire ensemble.

dispositif traditionnel d'EAD. Il aurait par exemple pour projet de « former en ligne tous les inscrits à ce cours, sans conditions préalable (d'âge, de diplôme, de prérequis, de droits d'inscription, de maîtrise de la langue utilisée, etc.). Une première représentation pourrait-être la suivante (Figure 48) :

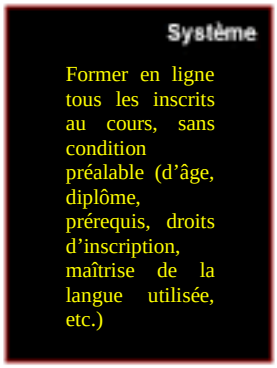


Figure 48 : L'ENA représenté par une boîte noire

C'est à ce stade que le modélisateur peut inscrire le système (le processus) dans son environnement ; le projet en devient identifiable et différentiable de son environnement. Ce dernier est en outre composé de différents *acteurs*[156]. « Un acteur représente un ensemble cohérent de rôles joués par les entités qui interagissent avec le système. Ces entités peuvent être des utilisateurs humains ou d'autres sous-systèmes » (Mammeri, 2011, p.8).

Parmi ces acteurs, nous distinguerons les acteurs principaux des acteurs secondaires.

Les acteurs principaux agissent directement sur le système. Dans le cas d'un ENA, il s'agit principalement des sujets apprenants, des enseignants, des tuteurs, des responsables de formation, des informaticiens-programmeurs, des *designers*, des concepteurs, des responsables de formation. Tous ont besoin d'utiliser le système, les premiers pour apprendre, les seconds pour enseigner et les derniers pour maintenir le système en bon état de marche.

Les acteurs secondaires n'ont pas un usage direct de l'ENA. Ils peuvent néanmoins être sollicités ou consultés par les acteurs principaux du système, soit pour échanger des informations avec lui, soit pour répondre à des besoins particuliers. Ce sont généralement des acteurs extérieurs au système considérés comme des prestataires de services (*e.g.* Moodle dans le premier MOOC EFAN[157]) ou tout simplement des partenaires (e.g. ceux de Coursera[158]). *YouTube* ou *Dailymotion* sont d'autres exemples d'acteurs secondaires qui offrent tous deux un service d'hébergement de vidéos aux MOOC. C'est précisément le cas de *Dailymotion* qui héberge les vidéos des MOOC de FUN (France Université Numérique).

Certains acteurs sont donc de type « humain » et d'autre non. Pour les différencier, certains langages de modélisation représentent les acteurs de type humain par des bonshommes parfois appelé « *stick man* » en anglais. En dessous d'eux est indiqué leur rôle respectif dans le système (Cf. Figure 49).

---

[156] Pour utiliser un terme générique propre au langage courant de la modélisation.

[157] MOOC EFAN : « Enseigner et Former Avec le Numérique » .

[158] COURSERA : Un des premiers MOOC américains (Université de Stanford – Californie).

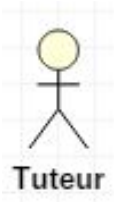


Figure 49 : Représentation d'un acteur de type humain

Pour représenter un acteur de type « non-humain », le modélisateur peut soit choisir une représentation parmi celles que proposent les langages de modélisation actuels, soit choisir sa propre représentation. Dans le premier cas, les représentations peuvent varier. Cela va de l'acteur non-humain de type « *stick man* » avec une grande barre noire sur la tête à l'acteur non-humain représenté par le même bonhomme mais avec l'indication du stéréotype <<système>>, en passant par une simple boîte avec l'indication du stéréotype <<système>> (Cf. Figure 50).

Figure 50. Représentation d'un acteur non-humain

Pour reprendre à des fins d'illustration l'exemple d'un MOOC, ce dernier serait constitué d'acteurs humains et non humains qui interagissent avec le système. Les utilisateurs de l'ENA qui ont besoin de cet environnement pour se former feraient naturellement partie des acteurs humains. L'hébergeur web de vidéos s'inscrit pour sa part dans la catégorie des acteurs non-humains. La boîte noire devient pour les utilisateurs humains l'opportunité de se former.

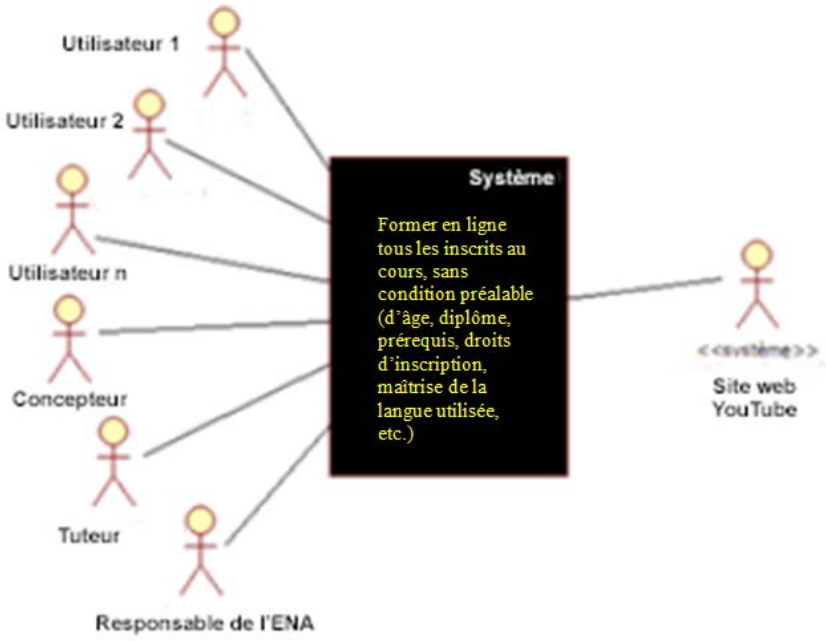


Figure 51. L'ENA placé dans son dans son environnement

Il découlera de cette activité la description des processus imbriqués ou des complexes d'actions lesquelles meubleront progressivement la boîte noire qui représente à la fois le système et son projet global. « Aux familles de projets, on associera des hypothèses de sous-système que l'on cherchera à articuler… en se référant au projet global du système de modélisation (et non à l'hypothétique nature des choses). Puis en partant des niveaux, on cherchera à les composer en système de processeurs, comme un compositeur cherche délibérément à composer un système musical en s'aidant d'un système de représentation symbolique. La modélisation d'un système complexe va s'organiser en une série d'itérations entre les projets et les représentations symboliques que s'en construit le modélisateur » (Le Moigne, 1999, p.54). Cette procédure relève de ce que Le Moigne appelle la Systémographie[159].

Cet ensemble d'actions multiples ou *processus* que le modélisateur aura identifiés pourront prendre place à l'intérieur d'une carte conceptuelle créée dans le but de les représenter (Cf. figures 52 à 56). Il conviendra alors de préciser les traits perçus du phénomène à modéliser tout en complétant la carte.

> « Il convient de souligner que ces taxonomies sont fondées sur les besoins de connaître un monde spécifique. Elles sont souvent limitées compte tenu des expériences vécues par le ou les sujets-explorateurs. Elles dérivent d'investigations personnalisées du monde à modéliser ; puis, elles sont consolidées par la démarche consensuelle entreprise par l'équipe de projet, quand il y en a une, et des médiateurs, porteurs de savoirs savants. L'équipe accepte de partager objets, termes et définitions pour en venir à porter un jugement de pertinence par rapport aux composants du monde dont il importe de tenir compte tout au long du projet à mener à terme. Cette description du monde est d'abord fondée sur l'intersubjectivité des personnes impliquées : elles étayent leur jugement grâce au recours à des expériences vécues, ou encore elles en justifient la convenance en prenant position de manière subjective. C'est la description d'un système complexe et l'aménagement de

[159] Terme utilisé par Le Moigne (1999, p.27) par analogie avec à la photographie : « procédure par laquelle nous construisons des modèles (les clichés) des formes contrastées des phénomènes que nous voyons à l'aide d'un objectif ».

ses composants en divers modèles qui vont découler de cette activité cognitive » (Lemire, 2008, p.75).

Parmi ces représentations, citons les matrices structurales, les arrangements, les arborescences, les cartes conceptuelles ou tout autre aménagement pouvant servir à la représentation de projets, d'actions, de complexes d'actions, de fonctions (processeurs) ou tout simplement de relations qui les unissent.

Pour faciliter la représentation de ces processeurs, nous convenons de désigner par « Pr » le processeur symbolisant « la boîte noire » et par « t_i » la période durant laquelle sont attribuées les valeurs de ses intrants et de ses extrants. Les processus caractérisant le phénomène actif sont maintenant perçus dans leurs actions, c'est-à-dire agissant au sein même du système.

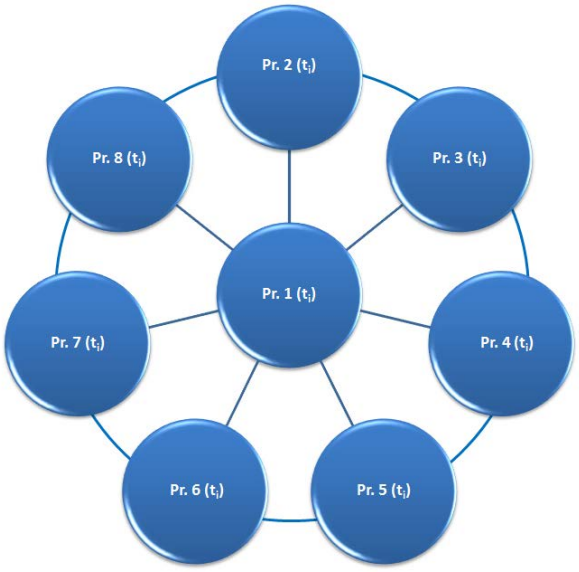


Figure 52 : Exemple de carte conceptuelle vierge d'un système de processeurs

Peraya (2003) ; Meunier et Peraya (2004) ; Charlier Deschryver, et Peraya (2006) se sont intéressés à « l'approche par fonctions constitutives de tout environnement de formation médiatisée » sans pour autant (à notre connaissance) que la théorie de la modélisation des systèmes complexe n'ait été invoquée explicitement. Le cadre d'analyse relatif à ces fonctions constitutives de tout environnement de formation médiatisée constitue aujourd'hui un cadre de référence.

Des différentes taxonomies que propose la littérature scientifique[160], ces auteurs en retiennent huit, à savoir les fonctions « a) d'awareness ou de mise en évidence de « signes de la présence [des acteurs] à distance » (Weissberg, 2003; Jacquinot-Delaunay, 2006) ; b) d'interaction sociale qui regroupe ce qui est classiquement désigné comme collaboration, communication et échanges c) d'information définie au sens de mise à disposition de ressources ou d'objets ; d) de production (individuelle ou collective) ; e) de gestion et de planification (des activités et des acteurs) ; f) de soutien et d'accompagnement ; g) d'émergence et de systématisation de

[160] Peraya, D., Charlier B., et Deschryver, N., (2008, p. 20) citent successivement : « Paquette (1993) ; Collins, Greeno et Resnick (1994) ; Basque et Doré (1998) ; de Vries, (2001) ; Henri et Lundgren-Cayrol (2001); Peraya et Deschryver (2002-2005) ; Gauthier (2004), cités par Peraya, D., Charlier B., et Deschryver, N., (2008, p.20) ».

l'activité méta-réflexive ; h) d'auto et d'hétéro-évaluation » (Peraya, D., Charlier B., et Deschryver, N., 2008 , p. 20).

Chacune de ces fonctions entretient des rapports avec les autres et parmi toutes celles-ci, il arrive que certaines d'entre elles soient perçues par les modélisateurs comme principales par rapport aux autres. La fonction de « gestion de l'information » est par exemple apparue centrale à Peraya et Bonfils (2014, p.13) lors d'une étude conduite sur les EPA (Environnement Personnel d'Apprentissage). Dans cette étude, « les sujets interrogés instancient cinq des huit fonctions constitutives de tout environnement de formation médiatisée : il s'agit des fonctions : a) de partage des dossiers en cours et des ressources, b) de gestion de l'information, c) d'awareness, de présence sociale à distance, incarnée notamment par les notifications, d) de production des documents écrits et multimédias et enfin e) la fonction de communication et d'interaction. À chacune de ces fonctions sont associés un ou plusieurs dispositifs particuliers » (Ibid. p.13). Ces fonctions reconnues et explicitées par les modélisateurs illustrent bien cette première étape de modélisation que nous présentons ici. Elles prennent place dans une carte conceptuelle construite dans ce but (Cf. Figure 53).

Figure 53. Modélisation de l'environnement de travail des groupes (Peraya et Bonfils, 2014, p.26)

6.1.2 Des processus récursifs

La reconnaissance des termes et légendes peuplant la carte conceptuelle du système et servant à nommer chacun des traits perçus du phénomène à modéliser se fait, nous l'avons vu, par itérations successives. Le modélisateur (ou l'équipe[161] de projet chargée de la modélisation) complète cette carte de manière itérative en franchissant un à un les *niveaux fonctionnels du modèle archétype* (à neuf niveaux) que nous avons décrit au paragraphe 5.1.2.4 « L'argument consiste à considérer une sorte de complexification progressive de la modélisation systémique » (*Ibid.* p.58). Les ajustements se feront par itérations successives afin de réduire le plus possible la distance entre une représentation construite par le modélisateur et la représentation des utilisateurs[162]. L'architecte qui conçoit un projet pour un client propose toujours plusieurs versions des plans avant d'en produire une version définitive (c'est-à-dire celle acceptée par le client). Ceci est aussi vrai lorsqu'un chef d'entreprise procède à l'analyse de son système de production. Une première information alarmante sur sa chaîne de montage ne serait pas suffisante pour déclarer le système défaillant. Ce dernier sera soumis à d'autres tests qui, de manière itérative, viendront confirmer ou non un dysfonctionnement récurrent. Dans notre cas, la démarche itérative s'apparente à un processus qui consiste à faire des allers-retours entre la construction du modèle et les informations progressivement apportées par les acteurs du projet et engrangées par le modélisateur. Ce dernier se construit ainsi une représentation du système toujours plus proche de la réalité. Des versions de plus en plus complètes et de mieux en mieux organisées apparaissent donc progressivement. Comme le disait le philosophe et logicien Jean Ladrière[163] en 1974 : « c'est une téléologie qui se construit. Il n'y a pas un *télos* posé à l'avance, il y a comme un processus d'apprentissage à la faveur duquel une démarche d'abord tâtonnante réussit à dessiner de façon de plus en plus précise son propre cheminement. Processus interne d'auto finalisation ».

A cet égard, notons déjà ici que les démarches et langages de modélisation de dernière génération tels que l'approche objet ou le langage UML lui correspondant s'organisent autour de principes fondamentaux dont le premier repose sur une approche *itérative* et *incrémentale*.

6.1.3 Représentation des processus et niveaux fonctionnels du système

Dans certains cas, le modélisateur peut s'apercevoir que le nombre de processeurs augmente rapidement. Cela doit le conduire à procéder à des regroupements de processeurs dans des familles ou catégories de processeurs. Elles pourront être classées, reliées entre elles et hiérarchisés dans une arborescence de type « parents » et « enfants ». C'est une manière de procéder qui, à partir de la reconnaissance d'actions ou de complexe d'actions (processeurs), permet d'arriver à la construction de catégories plus ou moins spécifiques servant à grouper ces processeurs en parties, compte-tenu de leurs propriétés ou attributs. « On peut alors différencier le système en autant de sous-systèmes ou NIVEAUX, chaque niveau pouvant être modélisé par son réseau et interprété de façon relativement autonome dès lors que les interrelations de couplage inter-niveaux ont été soigneusement identifiées » (Ibid., p.54).

Par exemple, si l'on reconnaît dans *le tutorat à distance* une fonction essentielle d'un ENA, on admet aussi qu'il correspond à la conjugaison d'un certain nombre de fonctions :

---

[161] Lorsque nous parlerons désormais du « modélisateur », nous tiendrons pour implicite le fait qu'il peut aussi s'agir d'une équipe chargée de cette modélisation).

[162] Dans Lemire (2008, pp.105-106) : les Systèmes de Monde Construits (SMC) et les Systèmes de monde représentés (SMr).

[163] Cité par *Serge* Diebolt dans : Le petit lexique des termes de la complexité du « Réseau Intelligence de la complexité » http://www.intelligence-complexite.org/fr/documents/lexique-de-termes-de-la-complexite.html

d'assistance technologique, d'expertise des contenus, de conseil méthodologique, d'animation, d'évaluation (Develotte & Mangenot, 2010, p.3).

Nous avons vu que la théorie des graphes met à disposition de la modélisation systémique toute une série de représentations fort utiles. Gilles Lemire, avec qui nous avons travaillé sur des problématiques propres à la modélisation systémique depuis les années 2000, propose dans son ouvrage « Modélisation et construction des mondes de connaissances[164] » la carte conceptuelle suivante. Le classement des composants explicite « les institutions de la Grèce antique (vie politique, culturelle, économique) ; cela demeure une illustration intéressante de ce procédé servant à l'aménagement d'un monde de connaissance à construire » (Lemire, 2008, p.93).

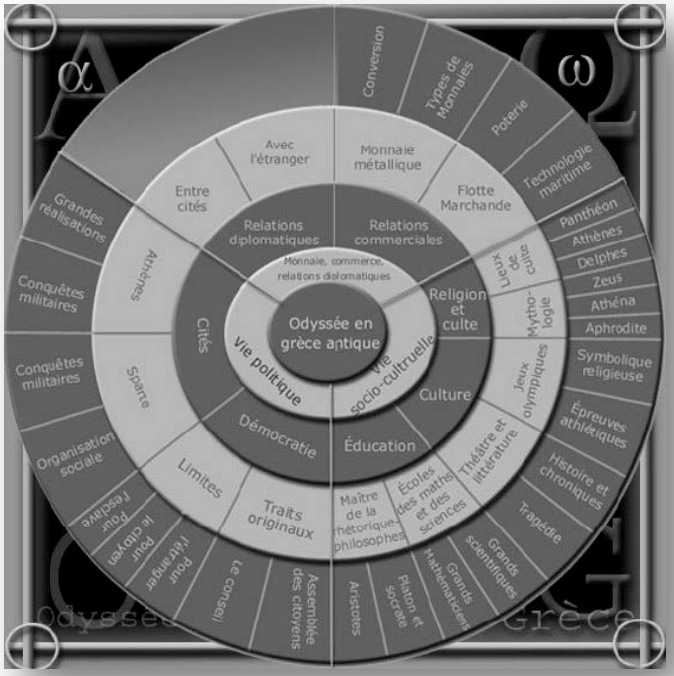


Figure 54 : Carte conceptuelle réalisée par une équipe de projet (Lemire, 2008, p.94).

« Au plan topologique, le noyau de la carte conceptuelle porte l'identification du *monde* dont l'auto-construction est entreprise ; la première couronne est fragmentée compte tenu des grandes classes, la suivante l'est selon le nombre de sous-classes. Les niveaux de spécificité peuvent aller jusqu'à des termes représentant des êtres concrets et placés dans l'espace qui entoure la dernière couronne » (*Ibid.*, p.93).

D'autres représentations fonctionnelles sont possibles. Donnons deux autres exemples ci-dessous :

[164] Ouvrage que nous avons eu le privilège de préfacer.

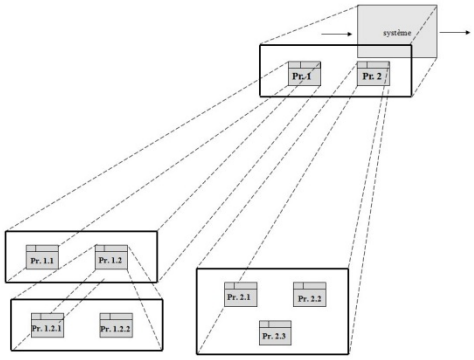


Figure 55 : Exemple 1 de représentation hiérarchisée

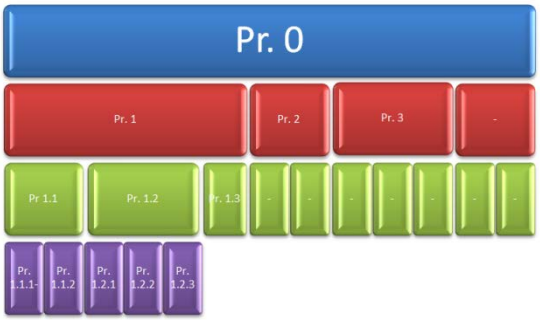


Figure 56 : Exemple 2 de représentation hiérarchisée

6.1.4 Les huit fonctions constitutives d'un ENA appliquées au notre modèle systémique

Il est également possible de représenter le processus général d'un ENA en utilisant par exemple les huit fonctions identifiées[165] par Peraya (2003), Meunier et Peraya (2004), Charlier et al. (2006) ainsi que Peraya, D., Charlier B., et Deschryver, N., (2008, p.20). L'exercice consiste simplement à compléter les cartes conceptuelles vierges des représentations proposées ci-dessus. Comme le rappelle Le Moigne (1999, p. 41), « le Système Général est en quelque sorte une matrice dont le modélisateur va établir, par moulage, une empreinte *a priori* (la phase « cadrage » : isomorphie Système général-Modèle). Il dispose alors d'un modèle systémique vierge, sans légende. La phase « développement » va consister précisément à rédiger les légendes, autrement dit à établir les correspondances entre les traits de ce modèle systémique et les traits perçus ou conçus du phénomène à modéliser. Le modèle « avec légende » sera ainsi nécessairement systémique (il est moulé sur un système a priori) »[166]. La figure 57 illustre le cas où ces fonctions sont appliquées au diagramme de la figure 52.

[165] Pour mémoire, Le Moigne, (1999, p.48) nous dit qu'un processus « peut être représenté par la désignation des fonctions identifiables qu'il exerce ou peut exercer ».

[166] Le Moigne poursuit en disant que « son incomplétude (en parlant du modèle) ne constituera pas une imperfection regrettable, mais une condition nécessaire à l'anticipation, par simulation, d'émergences possibles de comportements nouveaux au sein de ce système complexe (la phase 3 interprétation) » (Ibid. p.41). Voici donc quelques éléments de prospectives attendus qui nous serviront de guide.

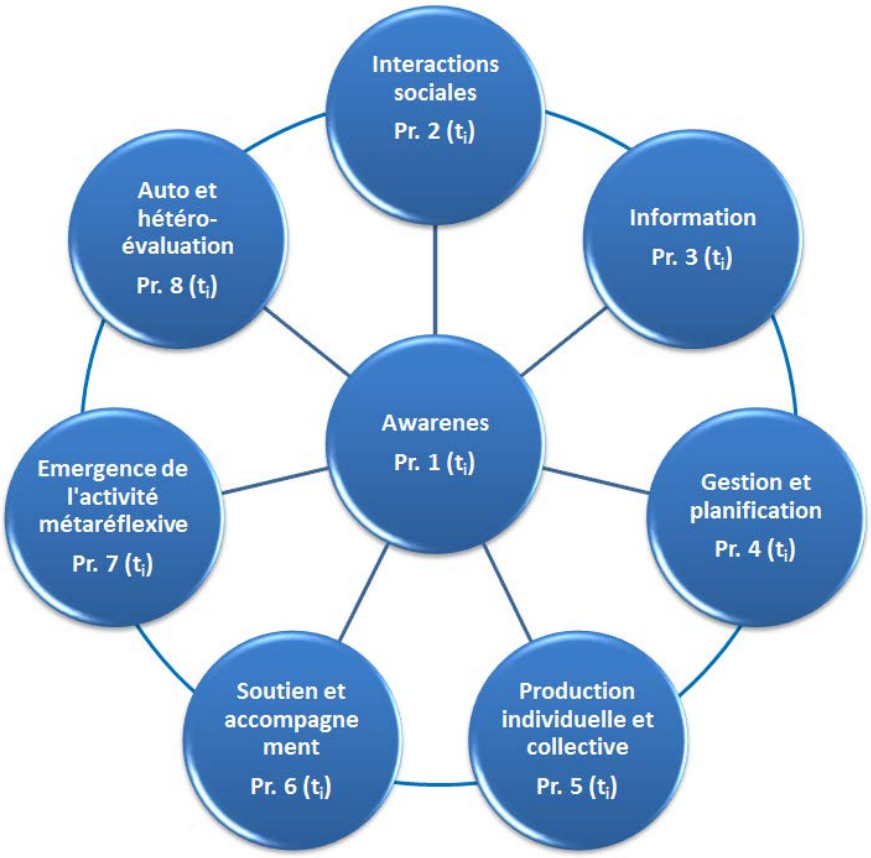


Figure 57 : Les huit fonctions constitutives de tout environnement de formation médiatisée (Peraya, D., Charlier B., et Deschryver, N., (2008, p.20) inscrites au cœur de la carte conceptuelle du processus général d'un ENA

Mais il serait aussi possible d'intégrer ces huit fonctions (ou partie d'entre elles) dans toute autre représentation graphique (Figure 58), comme celles que nous venons d'énoncer plus haut en figure 55 ou 56 par exemple.

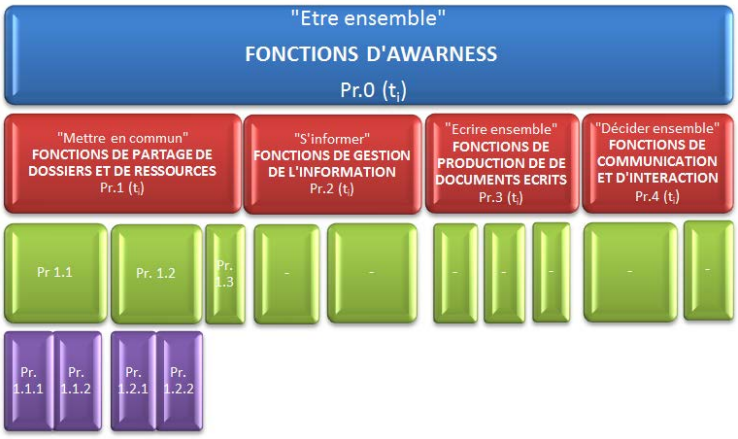


Figure 58. Application des fonctions constitutives dans les modèles précédents.

Nous avons vu aux paragraphes 3.4 et 5.2.5 qu'il existe des langages de modélisation de systèmes complexes qui proposent toute une série de représentations symboliques lesquelles permettent de modéliser efficacement ces processus. Elles sont généralement accessibles à partir d'une bibliothèque propre au logiciel utilisé. Nous donnons ci-dessous (figures 59 et 60) des représentations empruntées au langage UML (*Unified Modeling Language*) résultant principalement de la Modélisation « orientée Objet » OMT) de Rumbaugh et *al.* (1995). Nous avons d'ailleurs justifié ce choix au paragraphe 5.2.5. Dans cet exemple, nous reconnaissons les huit processeurs[167] de la figure 57 évoqués plus haut : (i) l'*Awarenes*, (ii) le *Soutien et tutorat* et (iii) la *Gestion et planification, etc.*

Notons que nous ne fournissons ici que des vues incomplètes pour illustrer nos propos. Elles seront entièrement développées au chapitre 7.

La boîte qui entoure ces processeurs correspond à la boîte noire (en bleu), c'est-à-dire au processeur englobant, autrement dit au système (Figure 59). La figure 60 représente, quant à elle, les processeurs « enfants » du processeur *Soutien et tutorat* pris en exemple.

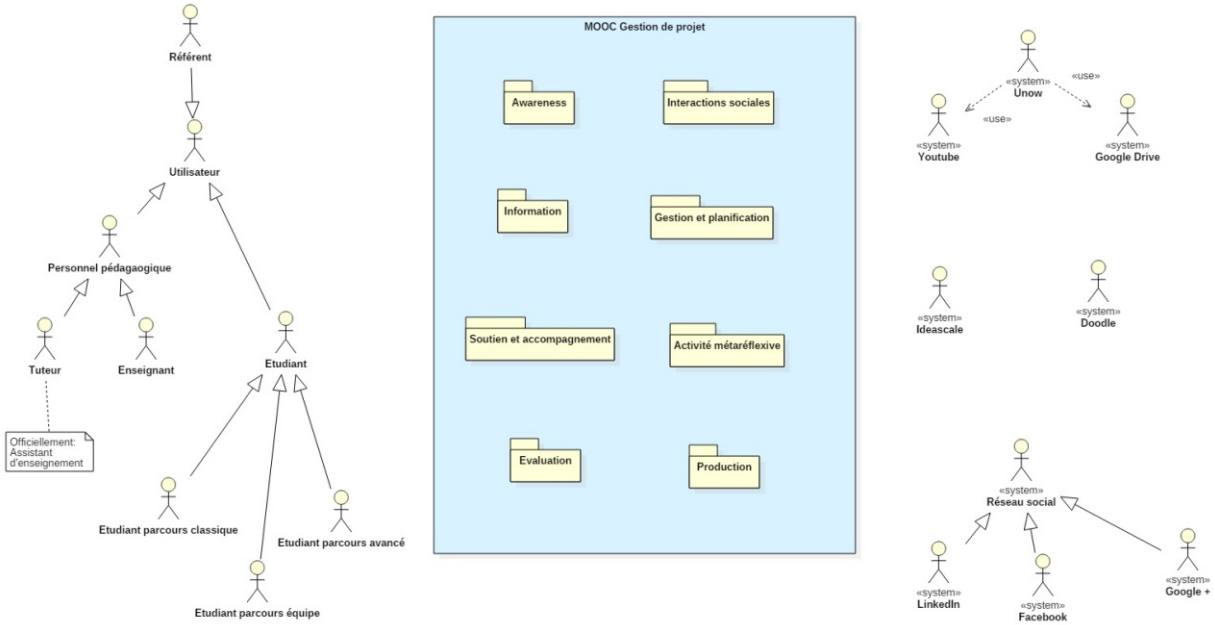


Figure 59. Huit processeurs en langage UML (package

Dans le langage UML, le diagramme de la figure 59 représente la décomposition fonctionnelle du système en processeurs aussi appelés « packages » dans ce langage (un signifiants de plus pour un même signifié !)[168]. Ce diagramme permet aussi d'indiquer les acteurs qui interviennent dans chacun des packages. Le diagramme de la figure 60 représente les processeurs enfants (on dit aussi « cas d'utilisation » dans ce langage), fonctionnalités plus spécifiquement nécessaires aux utilisateurs. Dans le langage UML, il est possible de faire un diagramme de cas d'utilisation pour l'ENA dans son ensemble ou pour chaque package. Ici, le cas d'utilisation porte sur le processeur « Soutien et tutorat ».

[167] *Packages* en langage UML.

[168] En effet, Le Moigne utilise déjà les termes de processus, fonctions, actions, complexe d'actions et processeur pour signifier la même chose.

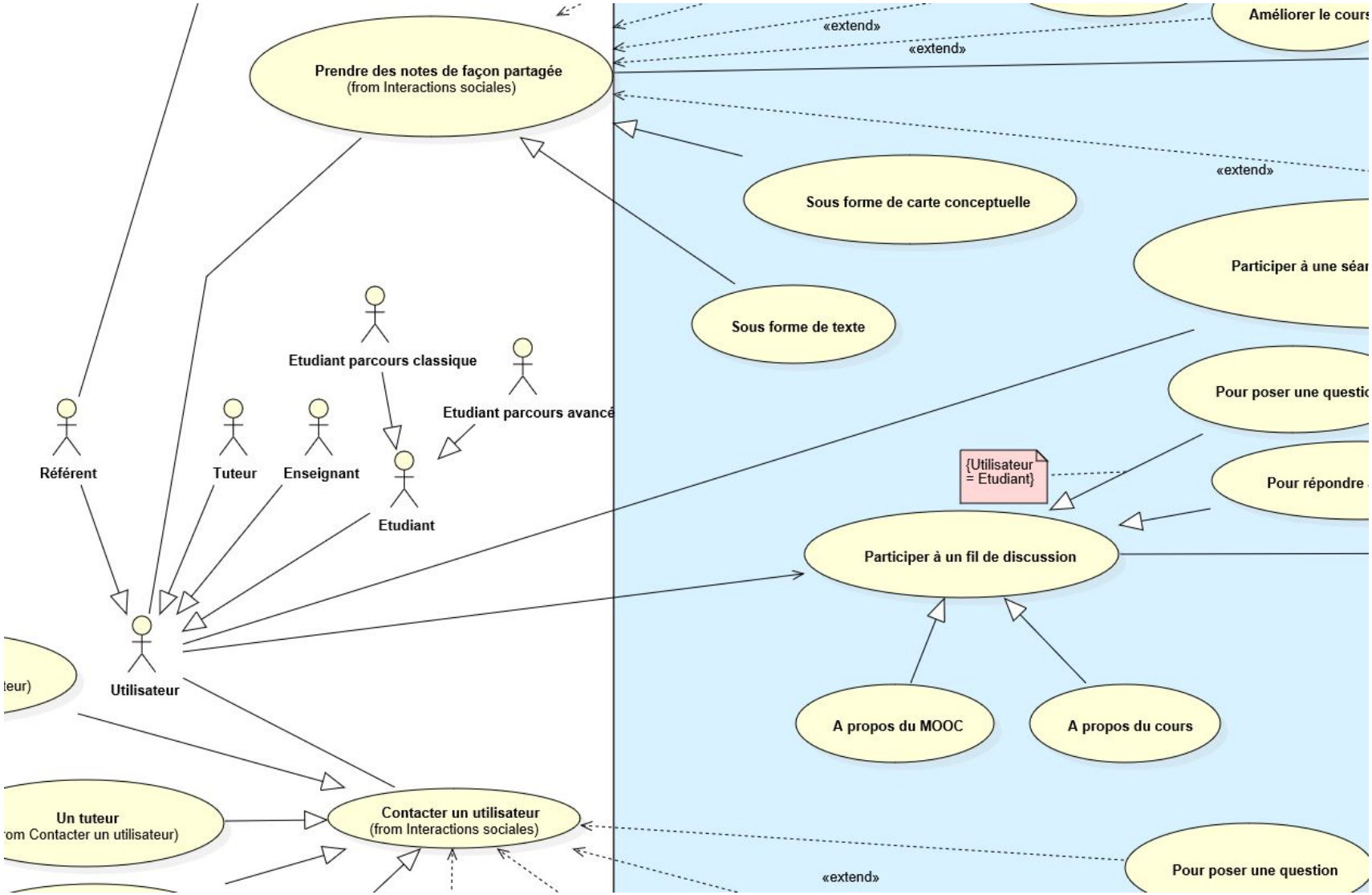


Figure 60. Extrait du cas d'utilisation Soutien et tutorat construit pour le MOOC Gdp (voir schéma complet au § 7.1.1)

6.2 DES PROCESSUS SYNCHRONIQUES (LE SYSTEME FAIT)

Les processeurs inscrits au cœur de la carte conceptuelle[169] vont maintenant être exploités tour à tour en tenant compte des actions qu'ils produisent, c'est-à-dire en explicitant comment les valeurs d'entrée (*les intrants*) de chaque processeur sont transformées pour devenir des valeurs de sortie (*les extrants*)[170]. Modéliser un environnement actif c'est modéliser l'activité qui s'y exerce par l'accomplissement d'actions, de transaction et d'interactions.

Cette étape correspond au *deuxième niveau de complexification* du *modèle archétype* (*à neuf niveaux).*

> Ce phénomène identifiable est perçu activement : il est perçu parce qu'il est présumé « faire » quelque chose. En termes de techniques de modélisation, on passe de la « patate » symbolisant un ensemble fermé, à "la boîte noire" symbolisant un processeur actif » (Le Moigne, 1999, p.59).

Ajoutons immédiatement un niveau de complexification supplémentaire que le concepteur est en mesure de percevoir et de représenter simultanément : l'autorégulation des processus ainsi identifiés. Il se situe *au troisième niveau de complexification du modèle archétype*.

> « Pour être effectivement identifiable, le phénomène doit être perçu par quelque forme de régularité sinon de stabilité. Son comportement, parce qu'il est perçu, est présumé « régulé » : on ne sait pas modéliser le chaos ou l'erratique ! Autrement dit, le modélisateur postule l'émergence de quelques dispositifs de régulation interne » (*Ibid*., p.59).

Pour mettre en évidence la présence simultanée d'actions et de contre-réactions, autrement dit d'inter-relations d'actions (réseau et *feed-back*), nous suggérons *de signifier leur présence active* (§ 6.2.1) en consignant dans une matrice structurelle leur origine et leur destination. Pour traduire la présence de régulation au sein du système à un *instant donné* (le système fait et semble régulé), nous dresserons pour chacune d'elles *l'inventaire des valeurs d'entrée et de sortie* (§ 6.2.2).

Puis, pour « rendre compte de la complexification de cette régulation » (*Ibid.*, p.60), placée au *troisième niveau de complexification du modèle archétype*, nous proposons de construire un *diagramme à flots de données* (§ 6.2.3) capable de mettre en évidence l'information produite par le système, mais aussi ses formes intermédiaires et les systèmes de symboles, assurant l'intermédiation et la régulation, un peu à la manière « de l'impulsion présumée électrique qui *via* les nerfs ou un circuit, transmet des instructions de régulation, rendant compte des changements d'états du système » (*Ibid.* p.60). Nous montrerons ainsi que l'environnement numérique d'apprentissage que nous modélisons est aussi capable de s'informer sur son propre comportement.

Dans le paragraphe qui suivra, nous aborderons *le niveau 4 de complexification* du *modèle archétype*, non plus de manière statique (le système « fait ») mais selon sa composante dynamique (le système « devient »). Nous décrirons les *séquences typiques* des processus (*scénarios*) en mettant en évidence les *évènements* qui activent les *actions* (§ 6.3.1). Les *traces* laissées par ces *événements* nous seront utiles pour élaborer les *diagrammes d'états* des processus mis en jeu.

Nous proposerons enfin (iv) une description de chacune des fonctions (processeur) (§ 6.3.4) avant de porter plus particulièrement notre attention sur la capacité de l'ENA à traiter

---

[169] … dont l'enveloppe est précisément la « patate » évoquée plus haut, …

[170] Remarquons dès à présent qu'un diagramme à flux de données du modèle fonctionnel de la modélisation orientée objet que nous allons utiliser pour la circonstance « montre comment les valeurs sortantes sont dérivées à partir de valeurs entrantes » (Rumbaugh, 1995, p.124).

l'information, à décider de son comportement et à mémoriser l'information (§ 6.4). Cette complexification progressive de la modélisation systémique correspond respectivement aux *cinquième et sixième niveaux du modèle archétype*.

6.2.1 Signifier la présence active d'inter-relations

Commençons par exposer une méthode simple permettant de signifier la présence active d'interrelations d'actions parmi lesquelles figurent les rétroactions (feed-back) dites aussi de « recyclage ».

La matrice structurelle construite dans un but similaire par Le Moigne (1999, p.50) est reprise à bon compte dans la démarche de modélisation que nous proposons.

> « La complexification du système modélisé va se faire par mise en interrelation des N Processeurs préalablement identifiés par les fonctions composées que chacun assure. On dit qu'il y a Interrelation entre deux processeurs Pi et Pj lorsqu'un extrant (ou une composante du vecteur extrant) du Processeur Pi est un intrant du Processeur Pj. L'interrelation IR (Pi, Pj) est alors activée.
>
> Toutes combinaisons d'interrelations possibles entre N processeurs peuvent être représentées à l'aide de la matrice structurelle du système (représentation que l'on peut affiner par la création des N2 matrices des couplages PiPj dans le cas où les extrants de Pi peuvent être les intrants de plusieurs processeurs différents Pj, Pk, Pl, …)

Matrice Structurelle du Système S identifié par N Processeurs

		Intrants des Processeurs					
		P_1	P_2	P_i	P_j		P_n
Extrants des Processeurs	P_1	0	1		0		0
	P_2		0		1		1
	P_i	1	0		1		1
	P_n	0	1		1		0

Figure 61 : Matrice des interrelations possibles entre N processeurs (Le Moigne, 1999, p.50)

> La présence d'un 1 dans la case EX P_i, IN P_j signifie que l'interrelation P_i, P_j est activée ; la présence d'un zéro, que cette interrelation n'est pas activée, et éventuellement qu'elle est interdite. Cette matrice structurale booléenne permet de présenter économiquement plusieurs caractéristiques intéressantes d'un système complexe » (*Ibid.*, p.50).

Outre l'intérêt que comporte cette représentation simple pour visualiser de façon formelle et rapide les interrelations du système, elle comporte aussi l'avantage de profiter de son effet intégrateur pour faire « apparaître des comportements nouveaux, rarement prévisibles par composition linéaire[171] » (*Ibid.* p. 50) lesquels, nous l'avons vu au paragraphe 5.2.6, permettent de faire le lien avec « nos » projets de *prospective* mis en perspective. Mais il est vrai qu'en pratique, la modélisation d'un système complexe se fait rarement en commençant par la construction de la matrice structurale car l'identification *a priori* des N processeurs et des couples Intrants-Extrants par lesquels on les caractérise… n'est pas donnée par le problème que considère le modélisateur (*Ibid.*, p. 54). Ce sera donc plutôt en partant des

[171] … d'où leur nom d'effets contre-intuitifs.

projets *connus* du système que la M.S. va proposer d'amorcer le processus de conception du modèle.

6.2.2 Dresser l'inventaire des valeurs d'entrée et de sortie de chaque processus

D'un point de vue méthodologique, et afin de faciliter la construction de l'inventaire d'entrée et de sortie et la reconnaissance des dépendances fonctionnelles qui suivront, nous proposons d'adopter une méthode qui s'inspire de la modélisation « orientée objet » (OMT)[172] élaborée par Rumbaugh et *al.* (1995). Dans ce paradigme informatique particulier de modélisation, un « *objet* » n'est *autre* qu'un simple constituant du système. Cette précision est importante car elle nous met à l'abri d'une situation qui pourrait devenir délicate vis-à-vis du choix de la M.S. (*versus* M.A.), choix longuement explicité dans les chapitres précédents. Dans ce paradigme informatique, l'*objet représente* un concept, une idée ou toute entité du monde physique et pas seulement un constituant statique ou un organe du système. Et si l'*objet* peut *représenter* un concept, un *processus* peut être un *objet* selon cette acception, puisqu'il *est* lui-même un concept[173]. D'ailleurs, les méthodes orientées objet abordent aussi la question de la modélisation de phénomènes perçus complexes par leurs aspects *fonctionnel* et *dynamique*. En découlent des modèles de modélisation de mêmes noms sur lesquels nous aurons l'occasion de revenir.

Dans l'approche orientée objet et afin d'identifier les valeurs d'entrée et de sortie, on représente généralement le processus par « un diagramme de flux » (ou diagramme de flots de données) qui permet d'obtenir des valeurs de sortie à partir des valeurs d'entrées. *Pour un état déterminité du processus*, il convient alors de spécifier son activité et déterminer l'organisation des opérations qui la définissent en explicitant les flux de données qui circulent à l'occasion de ces opérations.

L'identification des valeurs d'entrée et de sortie se produit à l'occasion d'une analyse fine des séquences d'actions constitutives de tout processus. Il s'agit d'un travail de reconnaissance qui consiste à dégager la liste des événements porteurs d'information qui seront ensuite transformés en données transmises au système ou émises par lui. Ces informations véhiculent des valeurs d'entrée, comme par exemple l'identifiant d'un usager souhaitant se connecter à son ENA (un MOOC par exemple). Cette information alphanumérique devient une valeur d'entrée qui indique au système que l'usager est bien inscrit (ou non) à la formation et que ce dernier demande l'autorisation d'intégrer les activités auxquelles il s'est inscrit. Des écrans de différentes natures ou des fenêtres d'entrée (masque de saisie) ou de sortie de l'information peuvent résulter de cette démarche et prendre place à l'écran en fonction du traitement que le système fera de cette information. Ici, l'activité générale est d'apprendre, le but est d'entrer dans le système. L'interface du système est de permettre à l'usager cette entrée en renvoyant des informations pertinentes en fonction des informations reçues. Le système peut par exemple accepter d'accueillir l'usager si les données fournies sont conformes aux données préalablement établies par un « système de décision », lequel aura lui-même fourni ces données à un « système de mémorisation » assurant une fonction de stockage de l'information. Les valeurs d'entrées pourraient être l'identifiant et le mot de passe par exemple et les valeurs de sorties le message « mot passe ou identifiant non valide : réessayez » ou encore « une nouvelle page d'accueil de l'interface Web ».

---

[172] *Objet Modeling Technique.*

[173] Sfard (1992, citée par Minh, 2012, p. 3) nomme « "réification des processus" la transition de la conception "processus" à la conception "objet". L'auteur a également souligné que les termes *processus* et *objet* devraient être compris comme différentes facettes de la même notion plutôt que comme composants séparés. Les deux aspects opérationnel et structurel sont donc complémentaires ».

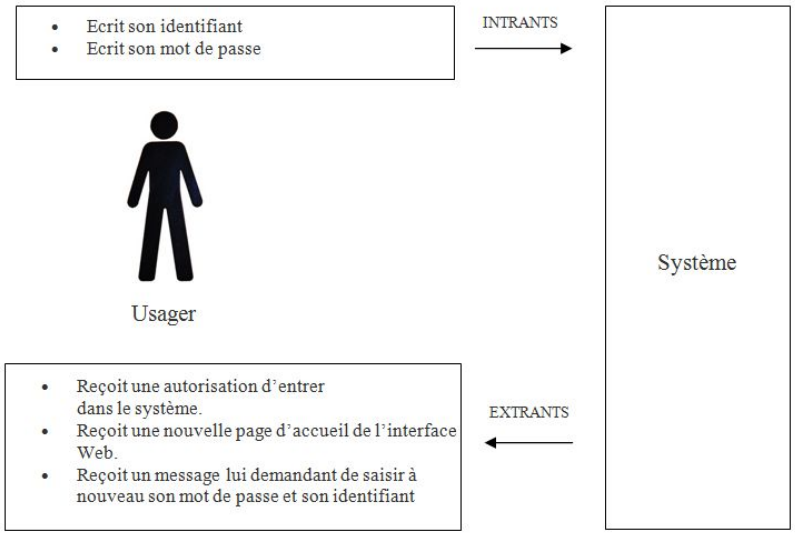


Figure 62 : Identification des valeurs d'entrée et de sortie pour un état du système donné

6.2.3 Représenter les flots de données et les dépendances fonctionnelles entre les processus

Au quatrième niveau de complexification du modèle archétype, « tout se passe comme si le système produisait de façon endogène des formes intermédiaires, des informations, des systèmes de symboles, lesquels assureraient l'intermédiation de la régulation » (Le Moigne, 1999, p. 60). Pour rendre compte de la complexification de cette régulation il paraît judicieux de proposer au modélisateur d'esquisser un *diagramme à flot de données*. Issu de la démarche de modélisation orientée objet (OMT), ce diagramme représente graphiquement la circulation des données entre les différents processus du système. « Il permet de déterminer ses frontières, le domaine d'étude, les processus du système, les traitements (activités) et donne une vue concrète du système à construire »[174] ou à analyser. Il est aussi utilisé pour montrer les dépendances fonctionnelles.

Précisons par ailleurs que ce diagramme « s'intéresse au traitement des données sans tenir compte du séquencement, *des décisions*, ni de la structure des objets » (Rumbaugh et *al.*, 1995, p.178). Son intérêt est de montrer comment les valeurs de sortie sont obtenues à partir des valeurs d'entrée, ou comment ces valeurs sont traitées et comment le système va se comporter.

Nous l'avons dit, c'est aussi à l'occasion de cette mise en relations de processeurs que peut émerger des comportements nouveaux au sein du système.

Concrètement, ce diagramme est généralement construit en couches qui raffinent successivement les traitements non triviaux : tout traitement non trivial doit être décrit par un sous-diagramme. « La couche de plus haut niveau peut consister en un seul traitement ou peut être en un traitement pour collecter les entrées, un autre pour traiter les données et un dernier pour produire les sorties » (*Ibid.*, p. 180).

[174] Définition tirée d'une présentation (TM070- v110a-2015-03-08) datée du 8 mars 2015 de Luc LAVOIE de la Faculté des sciences de l'Université de Sherbrooke. http://info.usherbrooke.ca/llavoie/enseignement/Modules/TM070-DFD.pdf

La figure 63 montre le diagramme à flot de données de plus haut niveau de l'interface d'un MOOC pris pour exemple et considéré ici comme un ENA de dernière génération (la légende est en annexe 1).

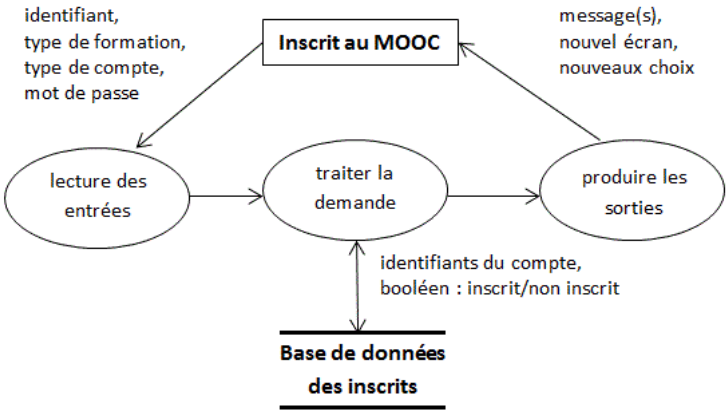


Figure 63 : Diagramme de flot de données de plus haut niveau de l'interface MOOC

La figure 64 développe le processus *Produire les sorties* de la figure 63 et donne l'exemple d'un sous-diagramme à flot de données, non trivial, du diagramme général. De la même manière, ce sous-diagramme pourra être développé dans d'autres sous-diagrammes. Le processeur *Afficher le forum* donnera certainement lieu au développement d'un autre diagramme à flot de données, et ainsi de suite.

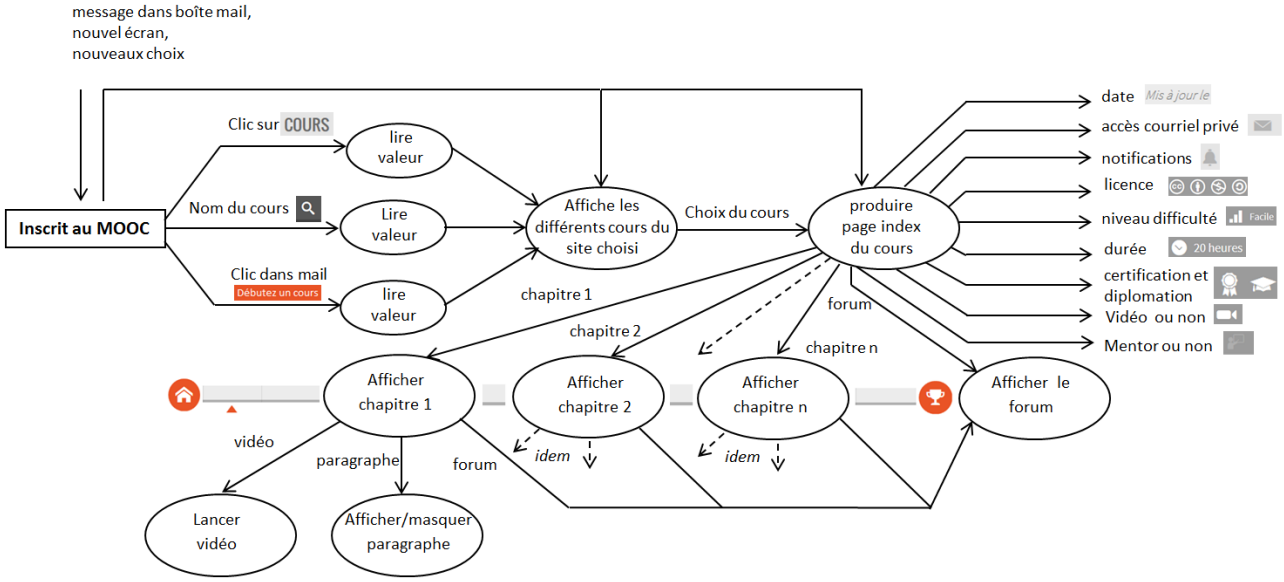


Figure 64. Diagramme à flots de données du processeur « Produire les sorties » d'un MOOC d'OpenClassrooms.

Dans les diagrammes « les fonctions sont identifiées par les verbes utilisés pour rendre compte des événements à actualiser. Ils deviennent l'occasion d'une relation d'association entre entités : chaque fois, cela crée une *dépendance fonctionnelle* » (Lemire, 2008, p. 151)**.** La *cardinalité* d'une relation caractérise le lien qui existe entre une entité et la relation. La dépendance fonctionnelle est dite forte pour une cardinalité (1,1) et faible pour une cardinalité (0,1) (Ibid. p. 152).

> « Les cardinalités permettent de caractériser le lien qui existe entre une entité et la relation à laquelle elle est reliée. La cardinalité d'une relation est composée d'un couple comportant une borne maximale et une borne minimale, intervalle dans lequel la cardinalité d'une entité peut prendre sa valeur : (i) la borne minimale (généralement 0 ou 1) décrit le nombre minimum de fois qu'une entité peut participer à une relation ; (ii) la borne maximale (généralement 1 ou n) décrit le nombre maximum de fois qu'une entité peut participer à une relation. Une cardinalité 1.n signifie que chaque entité appartenant à une classe d'entité participe au moins une fois à la relation. Une cardinalité 0.n signifie que chaque entité appartenant à une classe d'entité ne participe pas forcément à la relation » (Philippe Guézélou cité par Lemire, 2008, p.152).

Remarquons également que l'ENA ainsi représenté comporte des objets servant de *stockage* d'information (Figure 63). C'est le cas ici de la *Base de données des inscrits* qui mémorise notamment leurs identifiants et leur mot de passe. « Les réservoirs de données se distinguent des flots de données ou des traitements par le fait que l'entrée d'une valeur ne résulte pas en une sortie immédiate, mais que cette valeur est plutôt réservée pour une utilisation ultérieure ». Ce système de mémorisation sera abordé au *sixième niveau de complexification du modèle archétype*.

Par ailleurs, bien que le diagramme à flots de données (Figure 31) montre « tous les chemins possibles de traitement » (Ibid. p. 181), en sont habituellement écartés les *décisions*. A l'instar du système de mémorisation, le système de décision sera étudié en détail un peu plus loin et notamment lorsque nous aborderons *le cinquième niveau de complexification du modèle archétype*. Les *fonctions de décision*, comme le sont par exemple celles qui vérifient un identifiant ou un mot de passe, conditionnent évidemment le résultat. Certaines valeurs de données peuvent exclure certaines actions envisagées ou affecter le résultat d'une décision.

« Les décisions n'affectent pas directement le modèle à flot de données puisque ce modèle montre tous les chemins possibles du traitement. Il peut néanmoins s'avérer utile de saisir les fonctions de décision dans le modèle à flots de données dans la mesure où elles peuvent être des fonctions complexes des valeurs d'entrées. Les fonctions de décision peuvent être représentées sur un diagramme à flot de données mais elles sont indiquées par des flèches sortantes en pointillé. Ces fonctions ne sont que des indications sur le diagramme à flots de données ; leur résultat affecte uniquement le contrôle du flot et non les valeurs proprement dites » (Rumbaugh et al. (1995), p. 181). En voici un exemple :

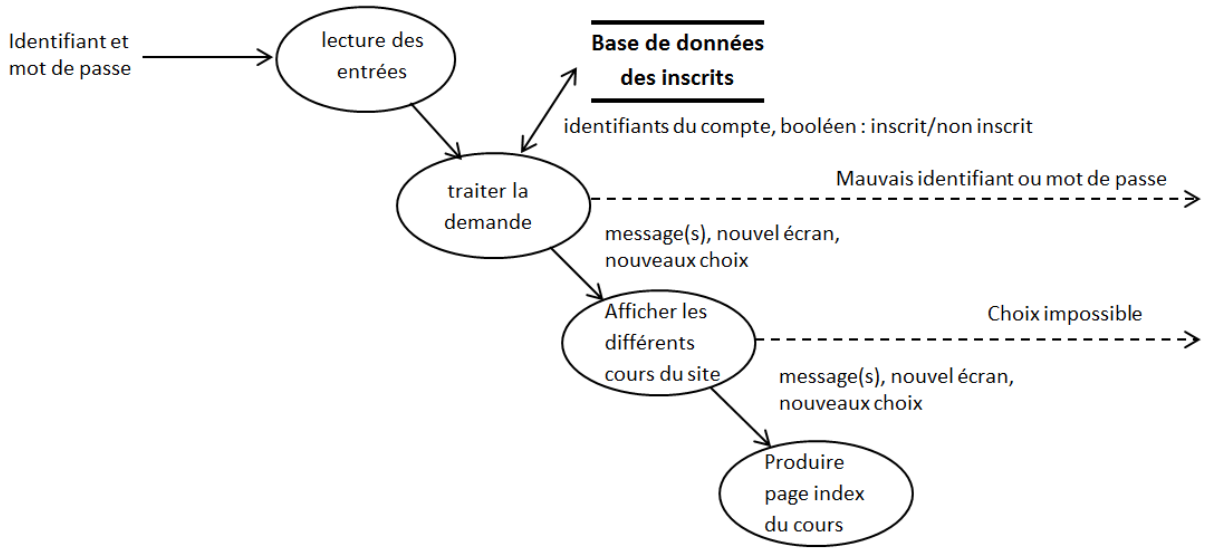


Figure 65. Diagramme à flot de données intégrant des fonctions de décision

Plus généralement, dans l'approche orientée objet (OMT), cet ensemble de diagrammes à flots de données construits dans le but de préciser la signification des opérations et des contraintes constitue ce qu'il est convenu d'appeler « *le modèle fonctionnel* ». Il s'intéresse au traitement des données sans tenir compte ni du séquencement, ni des décisions, ni de la structure des objets (Rumbaugh, 1995, p.178). Il montre comment « les valeurs sortantes d'un calcul sont dérivées à partir de valeurs entrantes sans tenir compte de l'ordre dans lequel elles sont calculées » (*Ibid.*, p. 124).

Nous verrons au chapitre 7 que les langages actuels de modélisation orientée objet comme UML (qui ne sont en fait que le prolongement d'OMT) traduisent cette même intention avec des diagrammes dits de « cas d'utilisation » et d'« activités ». Les diagrammes de cas d'utilisation donnent une vision globale du comportement fonctionnel d'un système (correspondant au diagramme fonctionnel d'OMT) ; ceux d'activités permettent de mettre l'accent sur les traitements. Ils sont en particulier adaptés à la modélisation des flots de données et permettent ainsi de représenter graphiquement le comportement d'une action ou le déroulement d'un cas d'utilisation.

Ce sont principalement ces diagrammes issus du langage UML que nous utiliserons dans nos projets de modélisation. Nous en avons donné les arguments au paragraphe 5.2.5. Ils caractérisent un système « qui fait » en indiquant clairement les actions. Rappelons que la seule raison qui nous a conduit à présenter préalablement des diagrammes propres aux « techniques » ou aux « méthodes » d'OMT avant ceux du langage UML tient au fait que nous reconnaissons dans OMT un langage fondateur (et qui détient les atouts recherchés) duquel est né les langages actuels comme UML dans ses différentes versions, UML 2, SysML, etc.

6.3 DES PROCESSUS DIACHRONIQUES (LE SYSTEME DEVIENT)

Nous venons de représenter le cheminement des données inscrites au cœur d'un processus finalisé qui circulent dans un environnement actif. Le diagramme à flots de données montre les dépendances fonctionnelles entre ces valeurs. A *ce niveau trois de complexification*, cela a permis de mettre de mettre en évidence les interrelations entre les processus à un moment précis dans le temps, c'est-à-dire de manière statique : « le système fait ». Mais le modèle canonique du processus (*Ibid.* p. 47) montre qu'il convient aussi de représenter le système qui se transforme « en agissant » et ce, au cours du temps (Figure 66).

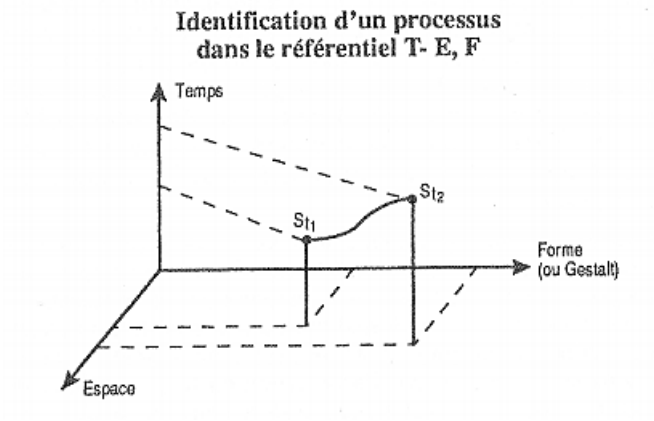


Figure 66. Le Modèle canonique du Processus (Le Moigne, 1999, p. 47)

Y parvenir, c'est atteindre *le quatrième niveau de complexification* du modèle archétype. Dans la modélisation orientée objet de Rumbaugh *et al.* (1995, p.87), « ces aspects du système, tributaires du temps et des modifications, sont regroupés dans le modèle dynamique… ». Si l'on compare ce modèle au précédent, nous pourrions dire que si « le modèle fonctionnel indique ce qu'il se passe, le modèle dynamique indique quand cela se passe… » (*Ibid.* p. 124). Nous proposons donc au modélisateur d'adopter ce principe pour expliciter, de manière synchronique, cette action « transformante » dans le temps. Il est ainsi incité à décrire les séquences typiques des processus (scénarios) en mettant en évidence *les évènements* qui *activent les actions*. Les traces laissées par ces événements lui seront utiles pour élaborer les diagrammes d'états qui rendent précisément compte « des changements d'état du système » attendus à ce niveau de complexification (*Ibid.* p.60).

Rappelons qu'à ce *niveau quatre de complexification* du modèle archétype,

> « tout se passe comme si le système produisait de façon endogène des formes intermédiaires, des informations, des systèmes de symboles lesquelles assureraient l'intermédiation de la régulation [voir Rumbaugh *et al.* p. 109] (ainsi l'impulsion présumée électrique qui *via* les nerfs ou un circuit, transmet des « instructions de régulation, *rendant compte des changements d'états du système* ». Cette émergence symbolique de l'information, artefact ou artifice interne de communication, constitue un « événement » ou saut, dans la complexification présumé du système modélisé. » (Ibid., p.60).

Comme nous l'indiquions dans l'introduction du paragraphe 6.2, nous abordons *ce niveau 4 de complexification*, non plus de manière statique (le système « fait ») mais selon sa composante dynamique (le système « devient »). Remarquons encore que les diagrammes à flots de données proposés précédemment et constituant le modèle fonctionnel de l'ENA répondent aux premières exigences de ce niveau quatre de complexification. « La production endogène de formes intermédiaires, d'information et de systèmes de symboles qui assurent l'intermédiation de la régulation » semble bien représentée dans ces diagrammes (informations, pictogrammes, en entrée et en sortie des processus). *Le modèle dynamique* de l'ENA que nous allons maintenant élaborer va surtout permettre de rendre compte, à ce niveau de complexification, *des changements d'états du système*.

Nous commençons par décrire les *séquences typiques* des processus (*scénarios*) en mettant en évidence les *évènements* qui activent les *actions et les transforment*. Nous nous intéressons ensuite aux *traces* laissées par ces *événements*. Ces dernières seront utiles pour élaborer en fin de section (§ 6.3.3) les *diagrammes d'états*.

Dans la modélisation orientée objet (OMT) les *diagrammes* représentent les traces de contrôle des actions qui se manifestent à travers la traduction des informations échangées et transformées aux cours de ces activités.

6.3.1 Séquences typiques (ou scénarios) et suivis d'événement

Le mot « scénario » a de nombreuses significations qui s'ajustent au contexte dans lequel il est employé : cinéma, gestion, éducation, informatique. En le rattachant au contexte qui nous occupe (éducation/informatique), un scénario est décrit comme un « ensemble d'événements ou de comportements permettant de décrire les *évolutions* possibles d'un système »[175]. Cette définition n'est pas très éloignée du sens qu'en donnent les ouvrages portant sur les techniques de modélisation orientée objet : « un scénario est une séquence type d'événements ; il permet de décrire les interactions courantes pour l'extraction des événements et l'identification des objets cibles »[176]. Le diagramme est là encore l'instrument privilégié pour représenter les composants de l'interface et du système, ainsi que les parcours que suivent les utilisateurs du dispositif. « Chaque diagramme personnalisé devient porteur d'activités cognitives qui vont placer l'utilisateur et le système dans des contextes propices à la réalisation d'interactions » (Lemire, 2008, p. 132). On en arrive ainsi à spécifier les actions effectuées sur les objets : c'est le cas par exemple lorsque l'on clique sur une icône dans le but de préciser un type d'événement et le genre d'activité cognitive que l'on entretien avec le système. Ce peut être l'affichage d'une illustration proposée en guise d'explication, celui d'un texte imagé, ou encore l'ouverture d'une fenêtre permettant d'écrire pour communiquer un avis. L'idée serait de faire autant de diagrammes qu'il y a d'événements qui vont mettre l'utilisateur en présence d'informations ou en communication, soit avec le système soit avec d'autres interlocuteurs (*Ibid.*, p.132). Nous ne donnerons pas ici d'exemple de diagramme de scénarios propre à la modélisation orientée objet (OMT) car nous aurons l'occasion de le faire par la suite lorsque nous aurons adopté un langage de modélisation spécialisé pour le faire (UML 2.0). Nous verrons alors que, dans ce langage, les scénarios se retrouvent sous forme de diagrammes spécifiques, à l'intérieur de diagramme de « cas d'utilisation » ou encore d'« états-transitions ». Ceci dit, Lemire (2008, p. 132-136) propose des exemples de représentations schématiques de scénarios et de nombreux conseils pour les construire. Le lecteur pourra facilement s'y référer s'il le souhaite.

6.3.2 Traces laissées par les événements

La méthodologie mise en œuvre repose ici sur les *traces* laissées par chacune des activités, qu'elles soient cognitives, informationnelles, décisionnelles, organisationnelles ou régulatrices. Elles sont récupérées d'enquêtes, d'entretiens semi-directifs à destination des différents acteurs de l'ENA considéré. Nous avons à cet égard récolté de nombreuses données sur les MOOC dès leur arrivée en France en vue de modéliser ces environnements numériques d'apprentissage particuliers (Cf. Volume 2 : 5, 18). Ces données nous renseignent à la fois sur les perceptions et comportements des acteurs mais aussi sur ceux des inscrits (des apprenants). Ce corpus de données peut aussi résulter d'applications informatiques spécifiques introduites dans l'ENA dans le but d'assurer le suivi de la formation et de ses différents acteurs en ligne (décrocheurs potentiels). Ces applications informatiques fournissent des données souvent accessibles en temps réel *via* des tableaux de bord

---

[175] Grand dictionnaire terminologique.

[176] ALISSALI, M. (1998, novembre). Introduction au Génie Logiciel (Support de cours). Récupéré du site : https://fr.scribd.com/document/10176354/GenieLogiciel

développés dans ce but. L'application Boardz (figures 72 & 73) en est une bonne illustration. Nous reviendrons en détail sur cette application au paragraphe 6.5.2 lorsque nous traiterons de la provenance et de la collecte des données.

Pour collecter ces traces, nous suggérons de combiner deux approches différentes. La plus pragmatique consiste à recueillir les traces numériques laissées par les apprenants à l'aide d'outils de « *tracking* ». Souvent paramétrables, ces outils permettent de modéliser le type d'apprentissage que l'on veut superviser. L'objectif est de pouvoir suivre un apprentissage, que ce soit du point de vue de l'enseignant, de l'étudiant ou même de l'institution. Les données sont souvent présentées sous forme de diagrammes dans « des tableaux de bord » de suivi pédagogique.[177] L'autre approche est plus traditionnelle, elle repose sur des enquêtes ou des entretiens semi-directifs.

6.3.3 Les états et diagrammes d'états

Nous recourons pour ce faire au concept de *diagrammes d'états* propre au langage de « modélisation orientée objet »[178] de Rumbaugh et *al.* (1995, p. 91). Ces diagrammes permettent de représenter les traces de contrôle des actions qui se manifestent à travers la traduction des informations échangées et transformées aux cours de ces activités[179].

[177] Par exemple le Projet « Boardz » en cours de développement et de test : http://moodlemoot2014.univ-paris3.fr/course/view.php?id=211

[178] J. Rumbaugh, Modélisation et conception orientées objet, Paris, New York et Barcelone, Edition française revue et augmentée, Masson, 1994. James Rumbaugh est le créateur du langage de « modélisation orienté objet ». Il est également l'un des trois pères du langage UML, avec Grady Booch et Ivar Jacobson. (Source : l'encyclopédie en ligne Wikipedia).

[179] Remarque : Les traitements sur un diagramme à flots de données correspondent aux activités ou aux actions sur un diagramme d'états des classes. Les flots, dans un diagramme à flots de données correspondent aux objets ou aux valeurs d'attribut sur un diagramme d'état..

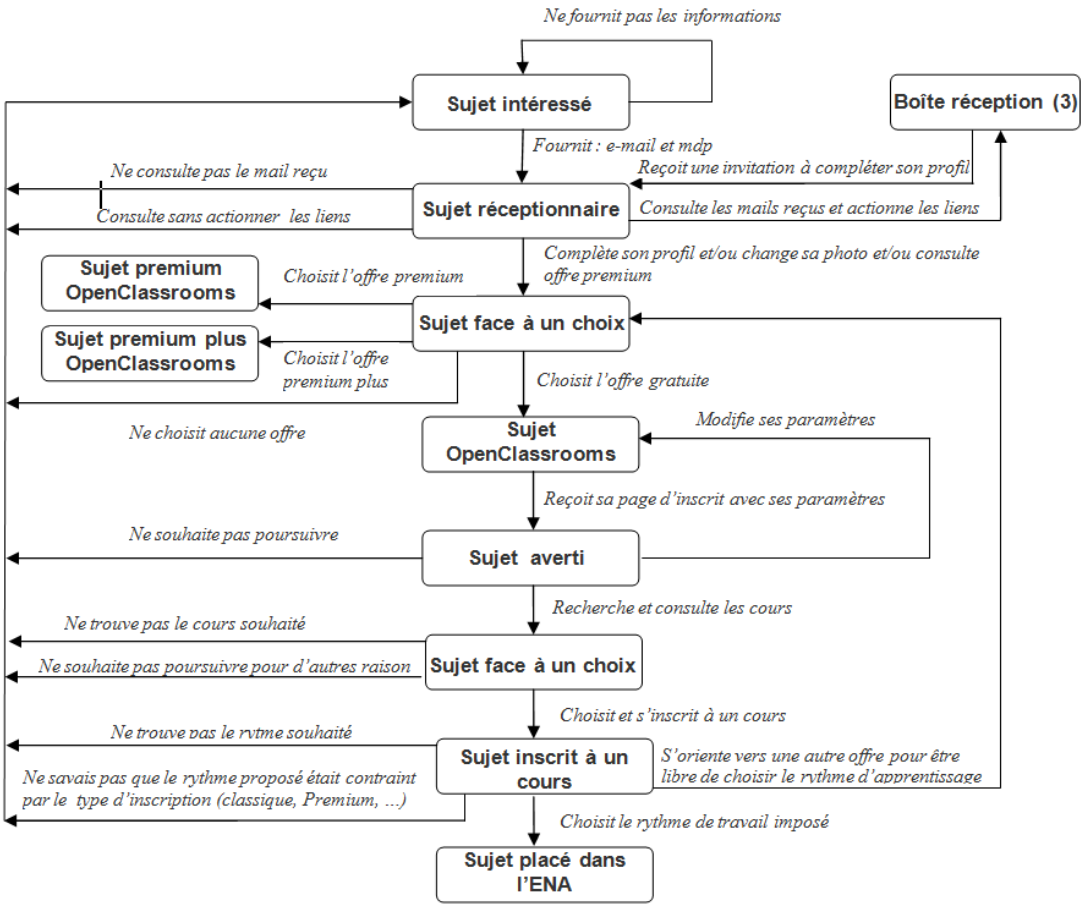


Figure 67. Diagramme d'état construit à partir d'un MOOC d'OpenClaasrooms.

De la même manière que nous l'avons dit pour les *diagrammes fonctionnels* d'OMT au paragraphe 6.2, nous pouvons le répéter pour *les diagrammes d'états* d'OMT ci-dessus : les langages actuels de modélisation orientée objet en UML sont à même de traduire cette intention. Dans ce cas précis, ce sont concrètement les diagrammes d'« états-transitions » que nous avons utilisés dans nos projets de modélisation » (Cf. § 7.1.3 et figure 86). Nous en avons donné les arguments au paragraphe 5.2.5. Ils caractérisent un système « qui évolue » en indiquant clairement les différents états des processeurs.

6.3.4 Description des processus

Rappelons que tout système complexe peut être représenté par un système d'actions multiples ou par un processus qui peut être un enchevêtrement de processus, chacun d'eux pouvant être représenté par la désignation des fonctions identifiables qu'il exerce ou peut exercer. Les étapes précédentes ont permis de désigner les fonctions que ces processus exercent et assument ainsi qu'à révéler les valeurs qui circulent dans le dispositif à construire et qui y sont exploitées.

Pour les décrire, le modélisateur se concentre sur ce que fait le système et cherche à en donner une représentation intelligible. Celle-ci peut être réalisée de différentes manières : en langage naturel, en pseudo-code, en formulation mathématique, par des tables de décision, etc. Rumbaugh (1995, p.181) recommande au modélisateur « de se concentrer sur ce que la fonction doit faire et non sur la façon de l'implémenter. […] L'objectif principal est de montrer ce qui arrive dans tous les cas » ; ainsi, à l'occasion de l'inscription gratuite d'un

internaute au MOOC OpenClassrooms, le rythme de d'apprentissage lui est imposé (sur 4 semaines).

6.4 UN SYSTEME CAPABLE DE TRAITER L'INFORMATION ET DE DECIDER DE SON COMPORTEMENT

Un *cinquième niveau* vient s'ajouter aux étapes *de complexification* de la modélisation systémique. Le système devient capable de décider de son activité, de traiter l'information qu'il produit et de prendre des décisions sur son propre comportement.

> « Capable de générer l'information, le système se complexifie en s'avérant capable de la traiter : computation de symboles, puis exercice cognitif, le système devient capable d'élaborer ses propres décisions de comportement. Il faut désormais reconnaître dans le modèle du système un sous-système de décision autonome, processant des informations et seulement des informations » (*Ibid*., p.60).

Ce cinquième niveau marque une étape importante dans la progressivité du processus de complexification du modèle archétype à neuf niveaux. Les quatre premiers niveaux caractérisent la conjonction des procédures cybernétique et structuraliste : le système a un projet dans un environnement actif, il existe, fait, et se transforme. Les niveaux suivants révèlent d'abord l'aptitude du système à générer, traiter et mémoriser l'information (niveau 5 et 6). Puis ils le reconnaissent capable de se coordonner (niveau 7) et d'élaborer de nouveaux projets, de nouvelles formes d'actions, de faire preuve d'imagination (niveau 8). Enfin le processus actif développe une capacité d'auto-finalisation qui lui permet de décider de son devenir, de faire des choix sur ses propres orientations (niveau 9).

6.5 UN MODELE FONDE SUR LES DONNEES DE L'ANALYSE

6.5.1 Un modèle construit à partir des données de l'analyse

La construction du modèle se fait par itérations successives entre le système d'un monde construit et ce que perçoivent les utilisateurs (leurs points de vue) lorsqu'ils observent les réalités ou les objets qui constituent ce monde[180]. « Les écarts possibles entre le *Système du Monde Construit* (SMC) et le *Système du Monde Représenté (*SMR) devraient être décelés à l'occasion de la vérification auprès des utilisateurs de la plus ou moins grande conformité du SMC au SMR. Si des ajustements s'imposent, il faut les faire par itérations successives pour réduire le plus possible la distance entre ces deux mondes » (Lemire, 2008, p.108). « Notre vision du monde est un modèle. Toute image mentale est un modèle, flou et incomplet, mais servant de base aux décisions » (De Ronay, 1975, p.122).

A partir d'une première ébauche de solutions, l'analyse systémique procède donc par allers-retours permanents entre un modèle qui se construit et les résultats de l'analyse des données fournies par le système. « C'est dans cet aller-retour entre l'acquisition de données sur la base d'hypothèses modélisatrices et leur reconstruction par la modélisation qu'une science des systèmes complexes peut se développer » (Bourgine, 2004, p.1). Les données brutes récoltées sont préalablement analysées (*analyse des données*) en appliquant notamment des procédures statistiques ayant traditionnellement recours à des techniques dites multivariées[181] au vue de la complexité du système et à la variété des données. Ces techniques permettent de restituer

[180] N'ayant qu'une perception du monde réel, nous ne pouvons le prendre comme référence.

[181] Analyse factorielle en composantes principales (ACP, analyse factorielles des correspondances multiples (AFCM), classification hiérarchique ascendante, etc.

des résultats plus synthétiques et donc plus simples en identifiant et en regroupant les variables ou modalités qui sont similaires (groupes de variables « corrélées »). Ces résultats constituent les *données de l'analyse* qui seront précisément celles qui vont permettre d'affiner le modèle (des exemples suivront). Le modèle se construit ainsi progressivement en tenant compte de ces données de l'analyse qui réduisent, à chaque itération, la distance entre le SMC et le SMR.

La *modélisation* consiste à construire un modèle à partir des données de l'analyse de systèmes » De Ronay (1975, p. 122).

6.5.2 Provenance et collecte des données

Les données à analyser peuvent être de toutes sortes : cognitives, informationnelles, décisionnelles, organisationnelles ou régulatrices. Elles peuvent provenir d'enquêtes ou d'entretiens à destination des différents acteurs d'un ENA ou de systèmes informatiques capables de restituer les traces de l'activité des apprenants, comme par exemple des tableaux de bord implantés sur les plates-formes de formation ou les outils de tracking qui permettent de cerner le profil des inscrits. Il peut aussi s'agir de résultats d'une simulation que le modélisateur a décidé d'utiliser pour affiner son modèle. Toutes ces données, produites et récoltées par le modélisateur, permettent de déterminer une succession de solutions approximatives (*données de l'analyse*) qui se rapprochent graduellement de la réalité perçue. C'est donc au modélisateur de déterminer les données à recueillir et à retenir celles qui lui paraissent les mieux adaptées au contexte de l'analyse.

Selon Cisel (2016) par exemple, « les premières recherches sur les MOOC se sont dans une large mesure basées sur l'analyse des traces d'apprentissage qui permettent de mesurer de manière précise ce qui se passe sur la plate-forme d'enseignement. Mais une approche purement descriptive de ces usages pose problème si l'on veut comprendre les tenants et les aboutissants de ces comportements d'une part, et ce qui se passe hors de la plate-forme d'enseignement d'autre part. Pour aborder ces questions, les approches plus qualitatives issues des Sciences Humaines et Sociales sont incontournables : enquêtes, entretiens, observations de terrain, ne serait-ce que pour répondre à cette question aussi simple que "Pourquoi s'inscrit-t-on à un MOOC ?" ».

Si les données fournies par le système sont nombreuses et variées, les données les plus pertinentes à analyser sont généralement suggérées au modélisateur par le modèle lui-même. Par exemple, l'existence d'une fonction « forum » inscrite au cœur d'un modèle peut inciter le modélisateur à vouloir connaître les raisons qui motivent les internautes à le fréquenter. Il pourra ainsi interroger les personnes concernées par ce dispositif sous forme d'entretiens ou de questionnaires. Ces données de différentes natures lui permettront peut-être de découvrir que la fonction du forum initialement prévue par le concepteur a été transformée ou détournée, ou plus simplement qu'elle n'a pas été pas utilisée... Inversement, *l'analyse des données* provenant du système peuvent révéler des défauts dans la structure interne du modèle qui correspondraient à des *données de l'analyse*. Celles-ci doivent permettre de remédier au problème.

Il existe plusieurs méthodes *non exclusives* de collecte des données que nous rappelons ci-dessous et que nous allons détailler dans les paragraphes qui suivent. Mais si les enquêtes, entretiens, et observations de terrains sont souvent privilégiés dans le champ des sciences humaines et sociales, tout autre moyen de collecte de ces données (tracking, simulation, …) pourra utilement servir à l'analyse du système et à l'amélioration du modèle.

Parmi ces méthodes d'analyse citons :

- Analyse à partir de données fournies par des outils de *tracking ;*
- Analyse à partir de données fournies par des tableaux de bord*;*
- Analyse à partir de données fournies par simulation ;
- Analyse à partir de données fournies par des questionnaires et entretiens.

Développons chacune de ces méthodes dans les paragraphes qui suivent. Nous verrons au chapitre 8 des cas concrets de modélisation et d'analyse.

6.5.2.1 Données fournies par des outils de tracking

Etablir les traces de l'activité, c'est mettre en évidence la circulation des informations au fil des activités de communication, c'est montrer d'où vient l'information et où elle va, c'est la connaissance des lieux où elle est engrangée, c'est préciser comment elle est produite et exploitée, c'est vérifier si l'information circule comme c'est prévu, si la communication se réalise selon les attentes (Lemire, 2008, p. 140).

- *Le principe des outils de tracking*

Il existe plusieurs outils de *tracking* qui permettent de suivre les actions des inscrits à un ENA. Ce dernier étant concrètement construit sur une interface Web, il est facile, à chaque action du visiteur, d'envoyer des informations à l'aide d'un *tracker* (un script[182]) à un programme statistique installé sur le serveur web et d'en stocker une autre partie sur l'ordinateur du visiteur par l'intermédiaire de cookies (historique de navigation, informations d'identification…).

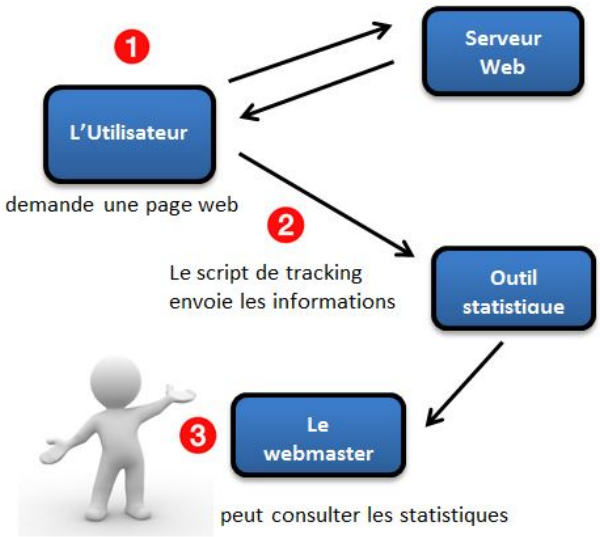


Figure 68. Circuit du Tracking Web

Pour effectuer ce tracking, il existe là encore plusieurs outils. Le plus connu et le plus utilisé est *Google Analytics*. Il écrit le code de suivi dans le code source du site web à l'emplacement recommandé par l'outil statistique et sur toutes les pages du site. Si le site web est réalisé avec

[182] Programme ou bout de programme informatique qui va exécuter une fonction au moment de l'affichage d'une page web ou de la réalisation d'une action utilisateur.

un CMS, il faudra donc insérer ce code dans les modèles de page ou dans les fonctions appelées par le thème »[183]. L'information est ensuite traitée par l'outil statistique et le webmaster peut alors consulter les résultats.

Voici à quoi ressemble par exemple un code de suivi sous Google Analytics :

```
<script>
 (function(i,s,o,g,r,a,m){i['GoogleAnalyticsObject']=r;i[r]=i[r]||function(){
 (i[r].q=i[r].q||[]).push(arguments)},i[r].l=1*new Date();a=s.createElement(o),
 m=s.getElementsByTagName(o)[0];a.async=1;a.src=g;m.parentNode.insertBe
 })(window,document,'script','//www.google-analytics.com/analytics.js','ga');

 ga('create', 'UA-XXXXXXXX-1', 'monsite.com');
 ga('send', 'pageview');

</script>
```

Figure 69. Code de suivi sous Google Analytics

- *Un exemple de trace récoltée sur un MOOC*

Les MOOC étant de parfaits représentants d'ENA de dernière génération, ils génèrent, tout comme les autres environnements d'apprentissage, des traces d'activités en ligne que l'on peut récupérer et traiter. Lors de la deuxième édition du MOOC eFAN (Enseigner et former avec le numérique), Boelaert et Khaneboubi (2015) ont « compté plus de 4800 inscrits et presque 500 dépôts d'activités. Les actions en ligne des participants ont généré des traces de connexions sur les serveurs du MOOC (journal de connexion ou logs) […]. Les logs constituent des informations non déclaratives qui concernent toutes celles et ceux qui se connectent sur un site web ». Il s'agissait pour eux « de données potentiellement intéressantes pour identifier par exemple des trajectoires d'apprenants, repérer des comportements typiques ou simplement effectuer des mesures d'audience » (*Ibid.*). Les logs récupérés leur ont permis « de définir cinq états pour chaque couple utilisateur-semaine :

- *absent* : l'utilisateur ne s'est jamais connecté aux ressources correspondant à cette semaine ;
- *présent* : l'utilisateur s'est connecté aux pages de la semaine, mais n'a pas regardé de vidéos ni répondu aux quiz (il a pu télécharger les vidéos, ou lire les textes, ou simplement consulter les pages pour suivre les liens vers d'autres sites) ;
- *vidéo* : l'utilisateur a regardé au moins une vidéo de la semaine, mais n'a pas répondu au quiz (malheureusement, les logs edX ne permettent pas de savoir si l'utilisateur a téléchargé une vidéo, on sait seulement s'il l'a regardée directement sur le site du cours) ;
- *view quiz* : l'utilisateur a consulté le quiz de la semaine, mais n'y a pas répondu ;
- *quiz* : l'utilisateur a répondu à au moins une question du quiz de la semaine » (*Ibid.*).

Considérant ces états représentatifs de degrés d'investissement dans le *MOOC*, ils tirent des « chronogrammes » pour chaque semaine de cours et des conclusions relatives à ces résultats. La figure 70 représente la part des participants qui étaient dans les cinq états précédents et la figure 71, construite à partir des mêmes données, représente sous forme de « tapis » les

[183] Extrait du dictionnaire du Web : http://www.dictionnaireduweb.com/tracking/

trajectoires individuelles de tous les inscrits[184]. Les trajectoires sont ordonnées selon leur état de fin de trajectoire (*Ibib*.).

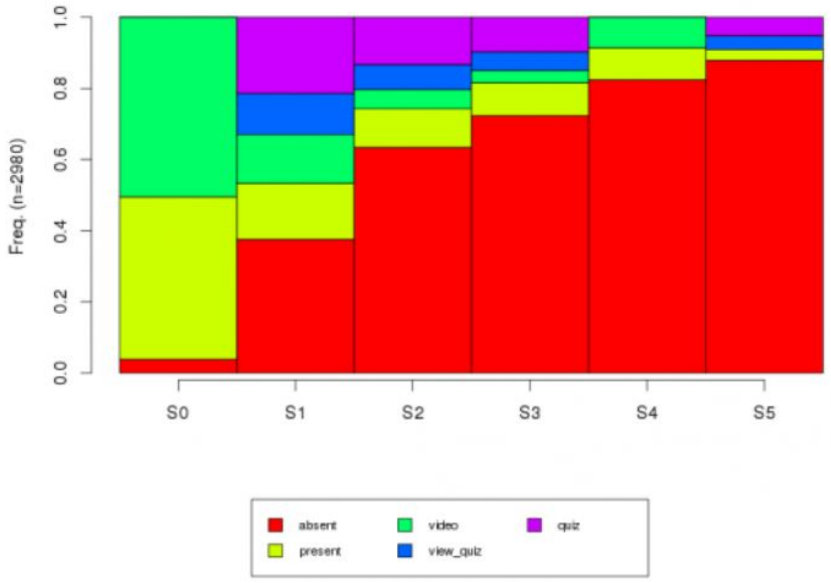


Figure 70. Fréquence des différents états, semaine par semaine (Boelaert et Khaneboubi, 2015).

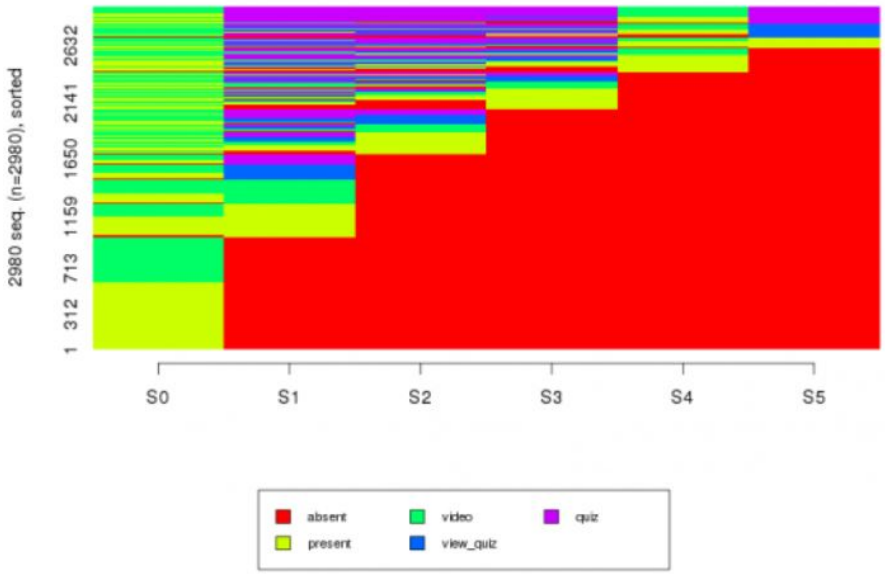


Figure 71. « Tapis » des trajectoires individuelles des participants (Boelaert et Khaneboubi, 2015).

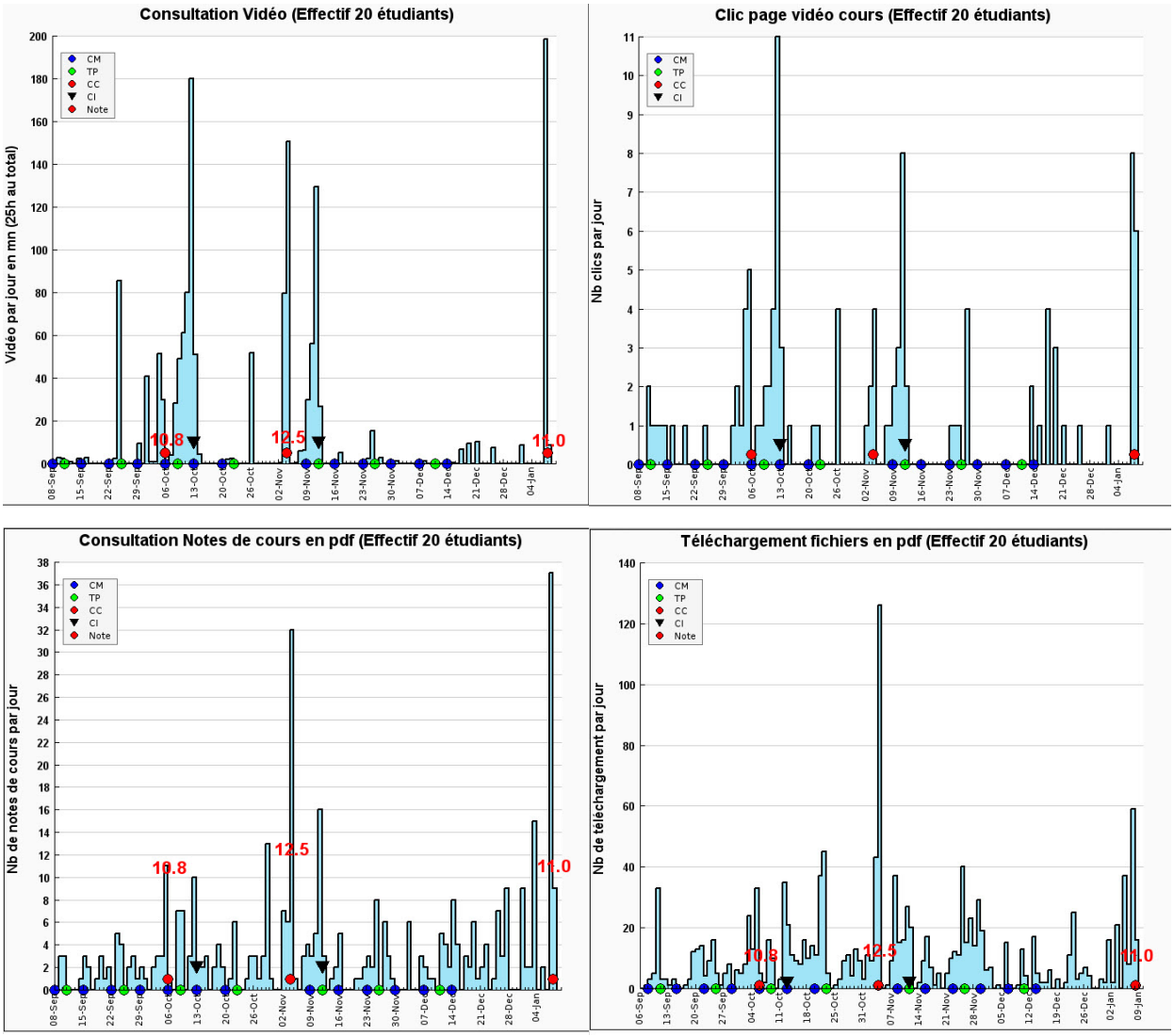
[184] « Cette visualisation se lit de la façon suivante : chaque ligne est un utilisateur, que l'on suit de gauche à droite de la semaine S0 à la semaine S5. Ainsi, les lignes tout en bas du graphique, qui sont d'abord jaunes puis rouges, représentent des participants qui étaient présents lors de la semaine S0 (mais n'ont pas regardé les vidéos ni les quiz sur le site), et n'ont pas consulté les pages des semaines suivantes. Sur ce graphique nous avons ordonné les individus selon leur état à la semaine S5 ; ainsi, les trajectoires représentées tout en haut du graphique sont celles des participants qui ont répondu au quiz lors de la dernière semaine » (Boelaert et Khaneboubi, 2015).

6.5.2.2 Données fournies à partir de rapports générés par des plateformes d'EAD

Une autre méthode assez simple et efficace est de procéder à l'analyse des données de connexion à partir des rapports générés par les plateformes d'ENA. L'analyse des traces laissées sur la plateforme permet à l'enseignant, *via* un programme PHP, de mieux connaître l'activité de ses étudiants. Le tableau 3 donne un exemple d'analyses réalisées de 2013 à 2015 par Éric Christoffel, un collègue enseignant-chercheur de notre laboratoire (LISEC), qui souhaitait connaître et étudier précisément l'activité de ses étudiants de la L3 MPC (Maths Physique Chimie). Il a en outre produit quatre graphiques qui lui ont permis d'en tirer des résultats intéressants :

- lecture vidéo en minutes par jour ;
- nombre clic sur la page vidéo du cours par jour (forcément corrélé avec le graphique précédent)
- nombre de notes de cours consultées par jour (notes de cours en PDF)
- nombre de téléchargements des diverses ressources (en PDF) : sujets et correction, etc.

Tableau 3. Données récoltées à partir de rapport générés par Moodle (Christoffel 2013-2015)



Sur les 3 premiers graphiques, il observe que les étudiants sont actifs en veille d'examen ou lorsque la classe inversée est imposée. Sur le dernier graphique, il constate que les étudiants sont actifs régulièrement sur l'année lorsqu'il s'agit de télécharger d'autres ressources : texte TD, TP, sujet des années antérieures et corrigé.

6.5.2.3 Données fournies par des tableaux de bord : le projet BoardZ pris en exemple

Le projet BoardZ de la faculté d'Avignon est un exemple d'outil générique qui se trouve à l'interface entre les dispositifs de recueil de données vus dans la section précédente et la simulation. C'est avant tout un tableau de bord pédagogique qui s'intéresse à la formation à distance. Il est entièrement paramétrable, chacun pouvant modéliser le type d'apprentissage qu'il veut superviser. Un des objectifs de ce projet est de pourvoir suivre l'apprentissage des apprenants dans le cadre de l'enseignement à distance en temps réel. Et ce d'un point de vue de l'enseignant mais aussi de l'étudiant ou de l'institution en proposant une analyse des traces numériques laissées par l'apprenant. Il doit donc permettre à l'enseignant de s'assurer que tout se passe « bien » dans son cours, de l'alerter au plus tôt en cas d'étudiant décrocheur, de lui donner une tendance générale des pratiques étudiantes mais aussi de faire un état individuel par étudiant. De la même manière, il donne à l'étudiant la possibilité de se positionner par rapport aux pratiques de la cohorte et des attendus de l'enseignant. Il doit également permettre au niveau de l'institution de « monitorer » une formation en présentant une vue globale des pratiques dans chaque enseignement.

Un peu plus spécifique à la FC, un groupe se constitue pour essayer de modéliser une réponse générique aux OPCA concernant le suivi de formation d'un stagiaire. Que pouvons-nous extraire des traces numériques des apprenants pour prouver aux OPCA la réalité de sa formation ?

En résumé, le projet de tableau de bord pédagogique est un outil multifonctions permettant de :

- détecter au plus tôt des étudiants décrocheurs ;
- vérifier la cohérence entre les pratiques des apprenants et les attendus de l'enseignant ;
- faciliter le suivi individuel des apprenants en formation présentielle ou à distance ;
- fournir les preuves attendues par les OPCA en FTLV ;

- « BoardZ est un outil open source développé à Avignon qui permet de visualiser graphiquement des indicateurs pédagogiques au sein d'un tableau de bord pour Moodle. Plusieurs utilisations de ce tableau de bord sont possibles en fonction du profil de l'usager. Chaque profil dispose d'une approche progressive : du global au détail. La vue globale permet d'appréhender en un coup d'œil l'ensemble du périmètre concerné, alors que les deux niveaux suivants proposent une modélisation plus fine des objets d'étude sélectionnés. La plateforme de visualisation est générique et permet à chacun de (re)définir ses propres indicateurs en (ré)écrivant simplement les requêtes SQL ou redéfinissant les fonctions permettant d'obtenir les valeurs de l'indicateur à personnaliser.

- La déclinaison que nous présenterons prend ces données sur la base Moodle mais peut tout aussi bien aller chercher des données dans le SI de l'établissement. Le profil enseignant propose par exemple au premier niveau deux aperçus pour chacun de ses cours, modélisant les usages TICE pour l'un et l'activité des apprenants pour l'autre. Le deuxième niveau présente pour le cours sélectionné l'activité de chaque apprenant par rapport aux autres. Enfin, le troisième niveau de précision affiche des indicateurs spécifiques à un apprenant pour ce cours.

- Pour chaque niveau, un système d'alerte est disponible permettant, par exemple et dès le premier niveau du profil enseignant, de savoir qu'un apprenant décroche dans un de ses cours. Il y a

actuellement en plus du profil enseignant des profils : étudiant, responsable de formation, administrateur de plateforme, jury labélisation TICE » (Marcel & Spriet, 2015)[185].

Selon Fanny Marcel et Thierry Spriet à l'origine de ce projet, l'objectif de ce tableau de bord est de favoriser la réussite des étudiants en repérant au plus tôt les décrocheurs. Ils partent du constat que les rapports de la plateforme Moodle sont plutôt orientés vers le suivi individuel assez éloigné des enseignements de masse. Ce tableau de bord doit afficher un profil individualisé en présentant des indicateurs pertinents tout en mettant en évidence des comportements anormaux. La modélisation pédagogique combine plusieurs critères (nombre de connexions par semaine, accès aux ressources (fichiers, pages, …), activité dans le forum, wiki, base de données, rendus des devoirs, tests, etc. à l'aide de représentations graphiques du type de la figure suivante :

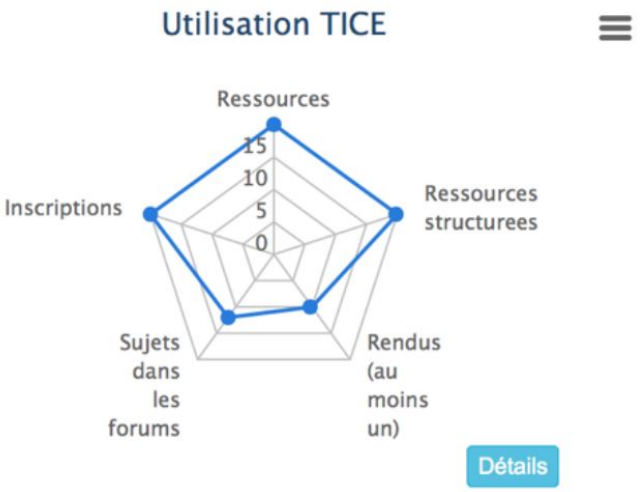


Figure 72. Modélisation pédagogique BoardZ combinant 5 critères

L'accès à différents tableaux de bord sont possibles Etudiants/ Enseignants/ Responsable de formation. A chaque acteur de la formation est associée une modélisation personnalisée. L'enseignant y trouvera par exemple une modélisation type de chacun de ses cours, de ses activités, des alertes d'étudiants décrocheurs, une vue globale de l'activité des étudiants et la possibilité de suivre individuellement chaque étudiant. La figure suivante donne un bref aperçu d'une liste de cours avec un titre, une description des alertes, des listes d'étudiants et des modélisations.

[185] http://moodlemoot2014.univ-paris3.fr/course/view.php?id=211 (tice@univ-avignon.fr)

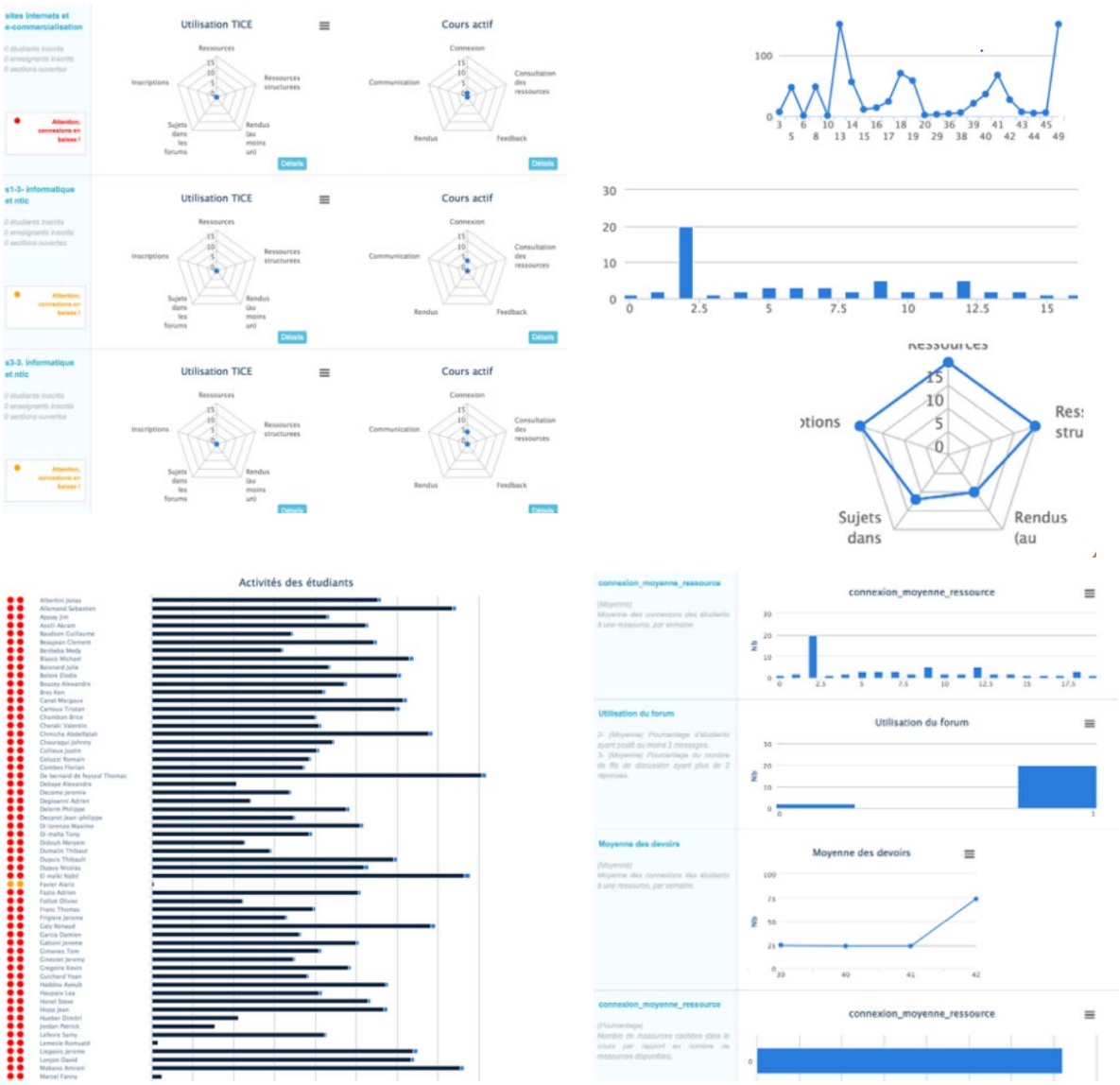


Figure 73. Modélisations pédagogiques du projet BoardZ

L'objectif aujourd'hui est d'affiner ces modélisations pédagogiques, d'intégrer les évaluations dans leurs calculs et de permettre le paramétrage des modèles de cours (avec les attendus des enseignants, etc.).

Des groupes de travail auxquels nous avons participé sont actuellement à pied d'œuvre pour finaliser ce projet.

6.5.2.4 Les données de la simulation

Selon De Roynay (1975, p. 122), « la simulation "cherche à faire vivre" un système en permettant le jeu simultané de toutes les variables ; ce que les limitations de notre cerveau nous interdisent sans l'assistance de l'informatique ou des appareils de simulation. La simulation s'appuie sur un modèle, lui-même établi à partir de l'analyse préalable ».

« *Analyse de système, modélisation et simulation constituent ainsi les trois étapes fondamentales de l'étude du comportement dynamique des systèmes complexes* » (*Ibid.*).

La simulation est intéressante pour observer les phénomènes complexes car elle permet de faire varier simultanément des groupes de variables, tout comme cela se produit dans la réalité. Il est alors possible d'émettre des hypothèses sur les phénomènes observés, sur leur comportement, de tester des conditions initiales, d'étudier les réponses et réactions en les faisant varier.

La simulation est donc en mesure de fournir en temps réel des réponses aux différentes décisions et actions des usagers. Mais elle nécessite des ordinateurs puissants et dans certains cas des montages expérimentaux assez lourds. Pour mieux connaître l'influence du vent sur la vie des arbres et des plantes par exemple, Emmanuel de Langre, professeur de mécanique à l'École polytechnique, et Pascal Hémon, ingénieur de recherche et aérodynamicien ont installé pour la première fois un arbre dans une soufflerie[186] ! Du côté des ENA, la simulation ne demande pas de moyens mécaniques aussi lourds mais nécessite néanmoins l'emploi d'ordinateurs puissants capables de traiter en temps réel la variation des multiples variables mises en jeu.

Simuler un système complexe passe par une étape préalable de modélisation des constituants, du système, de leurs comportements et des interactions entre ces constituants et avec leur environnement. Les étapes de cette modélisation ont été décrites en détail au chapitre 6. L'étape suivante consiste à exécuter le modèle obtenu en mobilisant des moyens informatiques adaptés. « Une des caractéristiques de ces systèmes est que l'on ne peut prévoir l'évolution du système modélisé sans passer par cette phase de simulation. L'approche « expérimentale » par simulation permet donc de reproduire et d'observer des phénomènes complexes (biologiques ou sociaux par exemple) afin de les comprendre et d'anticiper leur évolution »[187]. La mise en œuvre passe par des simulations comportementales et multi-agents. Applicables aux sciences sociales (simulation de réseaux sociaux), elles permettent en particulier d'illustrer les nombreuses perspectives de ce domaine et l'intérêt des approches pluridisciplinaires pour aborder de tels systèmes.

Il existe de nombreux outils pour la simulation de systèmes complexes comme la plate-forme de simulation multi-agent (Netlogo, RePast, Gama...), la plate-forme de dynamique des systèmes (Stella) ou encore Anylogics, etc. La figure 74 illustre à titre d'exemple une simulation de l'IRIT[188] dans l'interface de simulation multi-agent de Netlogo[189].

---

[186] https://www.polytechnique.edu/fr/modelisation-et-optimisation-des-systemes-complexes

[187] Extrait d'un cours de Master 2 Recherche - Informatique et Télécommunications sous la responsabilité de Frédéric AMBLARD de l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT) de l'Université de Toulouse III Paul Sabatier. Récupéré du site : https://www.irit.fr/M2RIT/index.php

[188] Institut de Recherche en Informatique de Toulouse.

[189] Présentation et téléchargement de la plateforme à partir du lien : http://www.emse.fr/~picard/cours/3A/masterWI/sma/

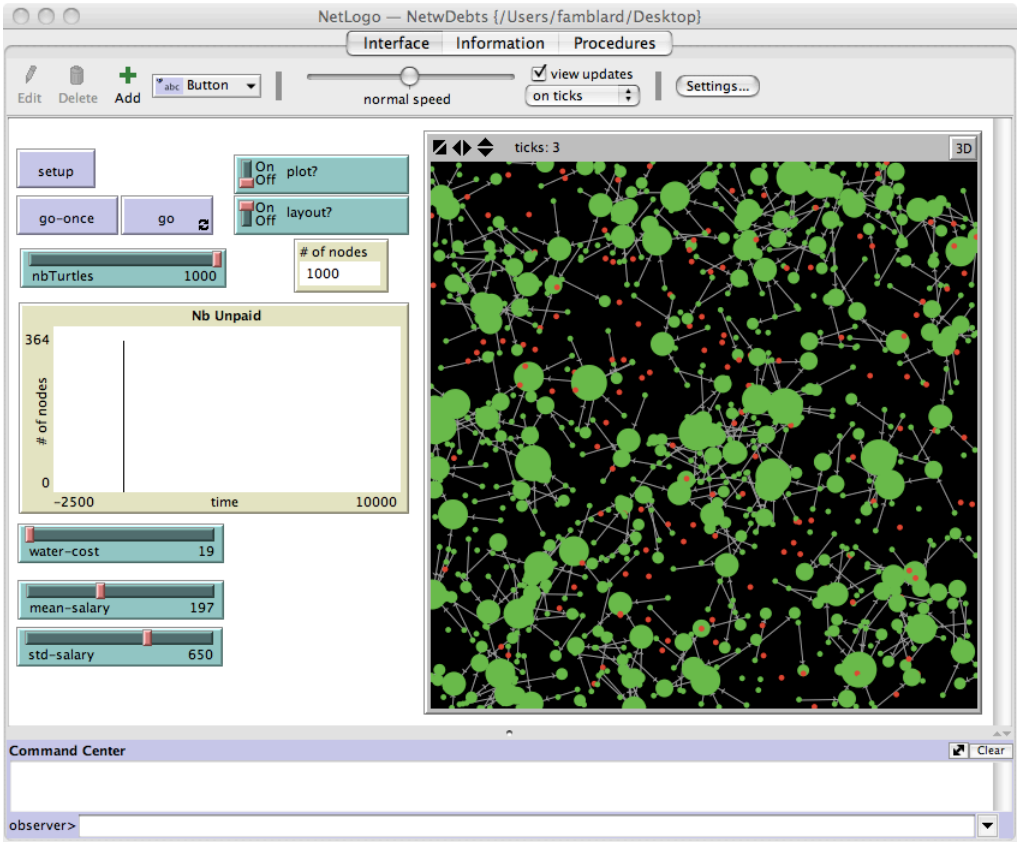


Figure 74. Simulation de l'IRIT sur la plateforme de simulation multi-agent NetLogo.

6.5.2.5 Données fournies par des enquêtes, entretiens et observations de terrain

Nous venons de voir que les recherches fondées sur l'analyse des traces de l'activité ou sur les résultats de la simulation permettent, pour les premières, de mesurer de manière précise ce qui se passe au cœur de l'ENA soumis à l'étude, et pour les secondes, d'étudier son comportement en « temps réel ». Mais cette approche purement descriptive peut très vite se montrer insuffisante pour qui veut comprendre les tenants et les aboutissants des phénomènes observés. De fait, pour aborder ces questions plus en détail, des approches à la fois quantitatives et qualitatives, du reste couramment utilisées en sciences sociales, deviennent intéressantes dans la mesure où elles permettent d'orienter le chercheur en lui offrant la possibilité de choisir ses propres cibles d'investigation (et non uniquement celles fournies systématiquement par la plateforme). Les outils mis à sa disposition sont les traditionnels entretiens, enquêtes et observations de terrain.

Nous conjecturons à cet égard que le modèle qui représente l'ENA à un moment donné aide le modélisateur à repérer et à choisir des cibles pertinentes d'investigation et qu'inversement, les résultats de l'analyse des données, qui seront récoltées et traitées à la suite de cette investigation, serviront à améliorer le modèle de l'ENA en construction (processus itératif).

Les analyses qui suivent traditionnellement ces enquêtes, entretiens et observations de terrain sont généralement à caractère confirmatoire. Elles reposent en grande partie sur des statistiques inférentielles qui visent à tester, selon une approche hypothético-déductive, les hypothèses formulées à l'aide de tests comme celui du Khi-deux, de Fisher ou celui du t de Student pour ne citer qu'eux. Elles utilisent la théorie des probabilités pour restreindre le nombre d'individus en autorisant des sondages sur des échantillons. Les tests d'hypothèses permettent alors de prendre des décisions dans des situations faisant intervenir une part de

hasard. Elles s'avèrent particulièrement utiles lorsqu'il s'agit de croiser plusieurs variables entre elles et de déterminer le niveau de significativité de leurs dépendances fonctionnelles. Ces analyses dites multivariées fonctionnent bien lorsque les variables à traiter ne sont pas trop nombreuses et que l'on peut facilement émettre des hypothèses quant à leur comportement dans le système.

Mais dès que l'on aborde la question des systèmes à haute complexité, nous sommes en présence d'un nombre si important de variables et d'individus (ne serait-ce que dans un MOOC) que ces méthodes montrent à leur tour leurs limites. De plus, s'agissant de phénomènes souvent nouveaux et peu documentés (ENA de nouvelle génération), les hypothèses sont difficiles à formuler.

De fait, sans complètement s'interdire quelques croisements de variables lorsque cela paraît utile et opportun, il nous fallait envisager d'autres méthodes d'analyse pour faire face à la complexité, car comme le disait avec humour John Wilder Tukey au début des années 1970, « il est préférable d'avoir approximativement raison que précisément tort »[190].

6.5.3 Analyse des données

Une fois les données récoltées, il s'agit de mener l'analyse à proprement parler. Confrontés à la complexité et à l'interdépendance, les modèles se construisent à partir de l'analyse que nous faisons des données fournies par le système et qui permettent au modélisateur d'émettre des hypothèses sur leur comportement d'ensemble. Cela le conduit à dégager de l'expérience « un modèle ou des principes de conception qui pourront être repris dans le cadre d'expériences similaires » (Harvey & Loiselle, 2009, p.106).

Nous suggérons d'utiliser *l'analyse exploratoire des données*[191] (AED) dès lors qu'il s'agit d'un système complexe en l'adossant à *une statistique descriptive* pour traiter des données récupérées à partir des différentes sources citées précédemment à savoir :

- les tableaux de bord, outils de *tracking* ;
- la simulation ;
- les questionnaires et entretiens.

- Au début de la construction du modèle, l'analyse des données récoltées ne peut être en effet qu'exploratoire (Tukey, 1977) cité par Cabassut et Villette, 2012) mais elle doit aussi permettre par la suite d'émettre des hypothèses qui pourront être validées ou invalidées par une analyse confirmatoire. Celle-ci utilise la statistique inférentielle pour tester les hypothèses formulées dans une approche déductive. Mais « la pratique répond assez rarement à ce schéma : vous cherchez parfois à répondre à des questions peu précises, les données "préexistent" et ont été recueillies selon des plans de sondage complexes, il y a des observations aberrantes… Dans ces cas, leurs hypothèses fondamentales étant violées, les méthodes classiques ne sont plus optimales. L'analyse exploratoire part au contraire des données et repose sur une logique d'observation. Grâce à une boîte à outils très fournie, l'explorateur va regarder ses données sous toutes les facettes, tenter de mettre en évidence des structures, et, le cas échéant, formuler des hypothèses plausibles. (Ladiray, 1997, p.3)

- Mais il serait absurde, comme le souligne l'auteur, d'opposer la statistique classique à la statistique exploratoire et tout aussi absurde de vouloir les confondre. « Elles occupent toutes

[190] « It is better to be approximately right than exactly wrong » (Tukey cité par Ladiray, 1997).
[191] L'expression « analyse des données » est à prendre ici dans un sens très général, et non dans son acception plus réduite renvoyant à l'analyse factorielle et à la classification. (Ladiray, 1997).

deux une place de choix dans l'analyse statistique et peuvent se révéler complémentaires » (*Ibid.*, p. 4)

Ainsi, *l'analyse exploratoire des données* (*Exploratory Data Analysis*) développée notamment par (Tukey 1977), adossée à une *statistique descriptive*, nous est apparue être un bon choix pour traiter de l'analyse de données d'un système complexe. Nous l'avons depuis adoptée pour nos recherches d'autant « qu'elle peut aider à la construction du modèle » (Ladiray, 1997, p.4).

L'analyse exploratoire des données (AED) utilise une approche inductive pour décrire la population (ici les différents acteurs ayant, d'une façon ou d'une autre, participé aux ENA) et déplace, en fin de recherche, la formulation d'hypothèses. *L'analyse exploratoire* vise d'abord à nous familiariser avec des phénomènes nouveaux, peu ou pas documentés, et nous aide ainsi à émettre des hypothèses pour des recherches futures. L'hypothèse se retrouve alors en fin de recherche, et non au tout début, comme elle l'est obligatoirement dans une *analyse confirmatoire*.

Par ailleurs, *la statistique descriptive* qui accompagne et renforce cette analyse exploratoire, permet quant à elle de représenter et synthétiser les nombreuses données fournies par le système. « La statistique descriptive est la branche des statistiques qui regroupe les nombreuses techniques utilisées pour *décrire* un ensemble *relativement important* de données »[192]. Et comme le soulignent Cabassut et Villette (2012), « elle présente l'avantage d'éviter les contraintes de représentativité d'échantillon ». Prenant pour exemple des enseignants participants à une formation, ils rappellent qu'ils ne sont pas forcément un échantillon représentatif de la population des enseignants. « Les conditions institutionnelles varient grandement d'un pays à l'autre ; participant volontaire ou participant désigné par l'autorité scolaire ; stage pendant le temps de travail avec professeur remplacé ou stage hors du temps de travail ; stage pris en compte ou non pour l'avancement dans la carrière, etc. » (Ibid., p.4).

Pour Joël De Ronay (1975, p. 122) repris par Tardieu *et al.* (1986, p. 34), « l'analyse de système, modélisation et simulation constituent ainsi les trois étapes fondamentales de l'étude du comportement dynamique des systèmes complexes ».

Au cours de ces deux dernières années, nous nous sommes engagés dans une démarche de modélisation systémique de la complexité dans le but d'étudier concrètement le comportement de plusieurs MOOC relativement populaires (Gestion de projet, Monter son MoOOC de A à Z, EFAN et EFAN Maths, …) perçus comme des ENA de dernière génération. Ces travaux ont donné lieu à trois publications et un projet en cours de réalisation :

- Un ouvrage sur l'appropriation sociale des MOOC en France (Trestini *et al.*, 2016), préfacé par Catherine Mongenet, chef du projet FUN et résultant du travail de plusieurs chercheurs que nous avons dirigé au sein au sein d'un séminaire créé dans ce but ;

- Un article (Trestini et Rossini, 2015) dans la Revue Internationale des Technologies en Pédagogie Universitaire (International Journal of Technologies in Higher Education) visant à connaître la perception des acteurs français de l'enseignement en ligne sur cette question des MOOC (qui fait suite à une communication au colloque international de Montréal au Quebec).

[192] Statistique descriptive. (2016, mise à jour 9 avril). Dans *Wikipédia*. Récupéré de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Statistique_descriptive.

- Un article (Trestini et Rossini, 2015) paru dans la revue *The Online Journal of Distance Education and e-Learning* qui présente notre approche théorique appliquée aux « *MOOC in the paradigm of systemic modelling of complexity: some emerging properties* ».

Le projet est d'étudier, selon la démarche de modélisation préconisée, *les dispositifs d'aide* qui sont proposés dans les MOOC. Une publication est déjà prévue sur ce travail en 2017, dans la revue « Distance et Médiatisation des Savoirs (DMS) ». Ce projet sera exposé plus en détail au paragraphe 8.2 puisqu'il représente un volet de notre programme de recherche.

7. Modélisation et simulation d'un MOOC : volet pratique

La modélisation que nous présentons ci-dessous (qui a d'ailleurs en partie servi à illustrer notre démarche) nous permet d'une part de fournir une illustration concrète de tout ce qui vient d'être énoncé jusqu'à présent et d'autre part d'introduire nos recherches futures. Dans ce chapitre, nous commençons donc par présenter ce cas concret avant de mettre en perspective nos projets de recherche à moyen terme. Par ailleurs, comme ce volet pratique a valeur d'exemple, précisons que nous allons suivre scrupuleusement la démarche de modélisation systémique de la complexité développée au chapitre 6 en l'appliquant au cas concret d'un ENA de dernière génération relativement connu : le MOOC « Gestion de Projet » (GdP) de Rémy Bachelet (dans sa version actuelle).

A travers le modèle qui s'est progressivement construit, notre but a d'abord été d'obtenir une représentation visuelle de cette activité instrumentée que nous voulions suffisamment significative pour mieux en comprendre le comportement. Un autre objectif, commun à tous les modèles visuels, était celui d'accéder à un outil d'aide à la communication entre les différents acteurs impliqués dans ce projet, qu'ils soient simples usagers ou chercheurs. Il nous a ainsi été possible de partager plus facilement les connaissances que nous avons acquises sur ce dispositif avec la communauté éducative et scientifique.

Parmi les différentes trajectoires possibles vers lesquelles nous conduit la modélisation systémique (conception, évaluation, analyse, prospectice…), nous avons dans un premier temps décidé de nous limiter à *l'analyse du comportement du système* en espérant déceler (dans une approche prospective) quelques propriétés émergentes. Nous nous sommes donc appuyés, comme nous le préconisions au paragraphe 6.5.2.4, sur un programme de simulation (en langage Python) que nous avons écrit en partant de cette modélisation[193]. N'ayant pas seul toutes les compétences et l'énergie nécessaire à la réalisation de ce projet d'envergure, nous ne fournissons ici que les éléments fondateurs de ce programme, en privilégiant la rigueur qui s'impose et ce avant d'envisager un développement plus important. Ce faisant, nous voulons montrer que nos préconisations ne sont pas que théoriques, mais qu'elles trouvent rapidement des applications concrètes. Dans un futur proche, notre intention est évidemment de poursuivre le développement de ce projet en ayant recours à des ressources humaines et matérielles plus importantes et plus expertes.

7.1 MODELISATION DU MOOC

Nous souhaitions donc modéliser le MOOC « Gestion de projet » et tenter une simulation. Modéliser un MOOC dans sa complexité, c'est d'abord modéliser un système d'actions, autrement dit identifier et formuler les fonctions que remplit le système. Nous l'avons fait comme nous l'avions décrit au paragraphe 6.1.1, en rassemblant dans un diagramme de « *packages* » les huit processeurs que nous avions identifiés au paragraphe 6.1.4, ceux correspondant aux huit fonctions constitutives de tout environnement de formation médiatisée. Ce diagramme représente également les acteurs qui interviennent dans chacun des *packages* (Figure 75).

Nous avons ensuite créé nos diagrammes de *cas d'utilisation* qui représentent, rappelons-le, les processeurs enfants, fonctionnalités plus spécifiquement nécessaires aux utilisateurs. Dans

[193] Nous verrons en quoi, techniquement, la modélisation aide le programmeur à déclarer ses objets dans son programme.

le langage UML, il est possible de faire un diagramme de cas d'utilisation pour le MOOC dans son intégralité ou pour chaque *package*. Ici nous avons décidé pour des raisons évidentes de lisibilité de produire un cas d'utilisation pour chaque processeur identifié :

- Awareness (Figure 76)
- Interaction sociales (Figure 80)
- Information (Figure 82)
- Gestion et planification (Figure 79)
- Soutien et accompagnement (Figure 83)
- Activité métaréflexives (Figure 78)
- Evaluation (Figure 81)
- Production (Figure 77)

Rappelons également que ces diagrammes sont uniques car ils représentent une *organisation* qui elle-même est *unique* : celle du MOOC « Gestion de projet ». Celui-ci présente certainement des points communs avec d'autres MOOC mais il développe aussi des spécificités qui requièrent une étude personnalisée. C'est dans cette logique que nous avons voulu nous mettre au plus près des formulations choisies par le concepteur du MOOC plutôt que d'appliquer les nôtres. Nous appellerons ainsi « étudiants » les personnes que nous aurions plutôt nommées « inscrits » dans un autre contexte, etc. Par contre, nous n'avons eu aucun mal à rassembler dans les huit fonctions constitutives de tout environnement de formation médiatisée nos différents complexes d'actions, comme en témoignent les diagrammes de « *package* » et de « cas d'utilisations » suivants.

7.1.1 Diagrammes de packages et de cas d'utilisation

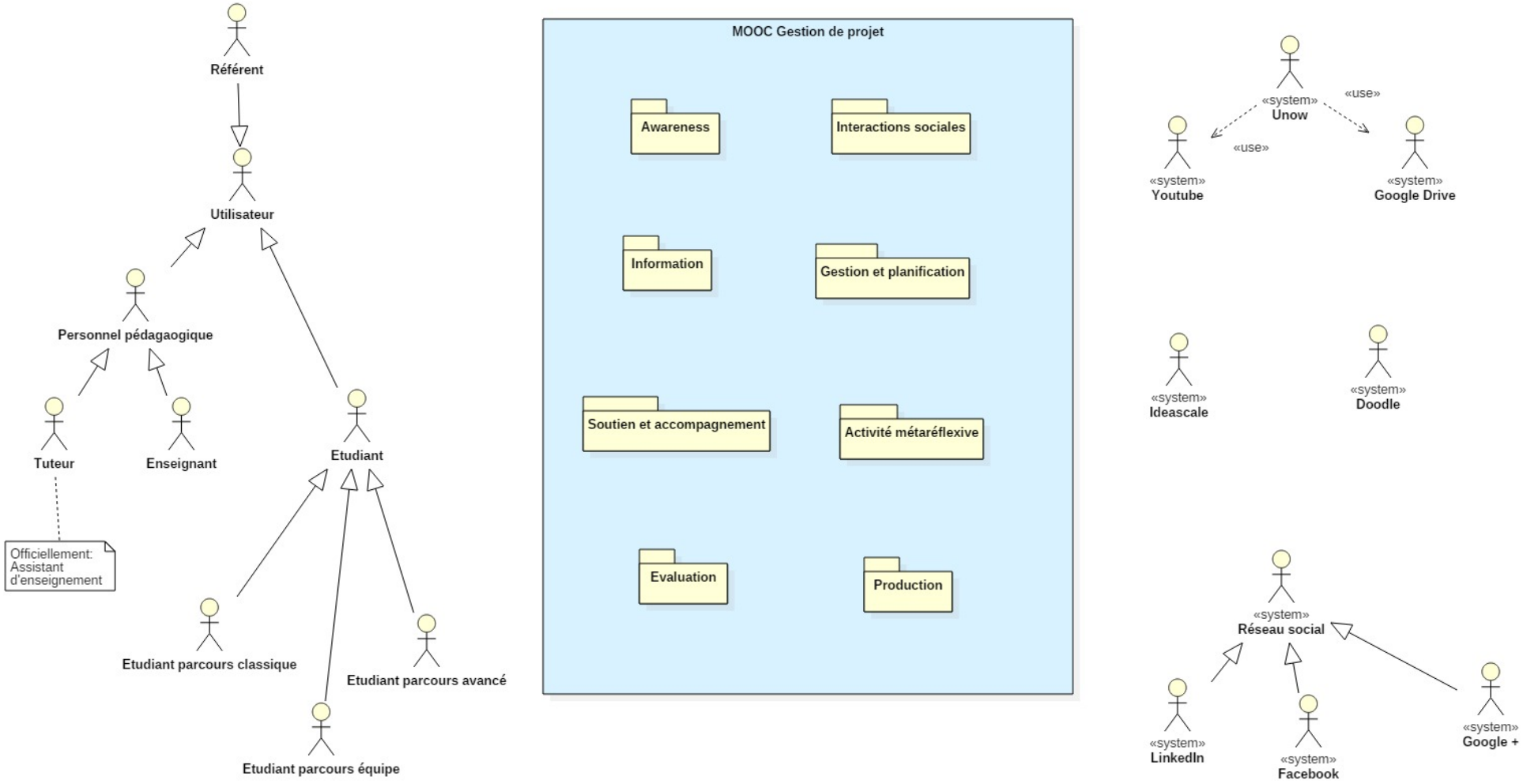


Figure 75. Diagramme de Packages fondé sur les huit fonctions constitutives de tout environnement de formation médiatisée.

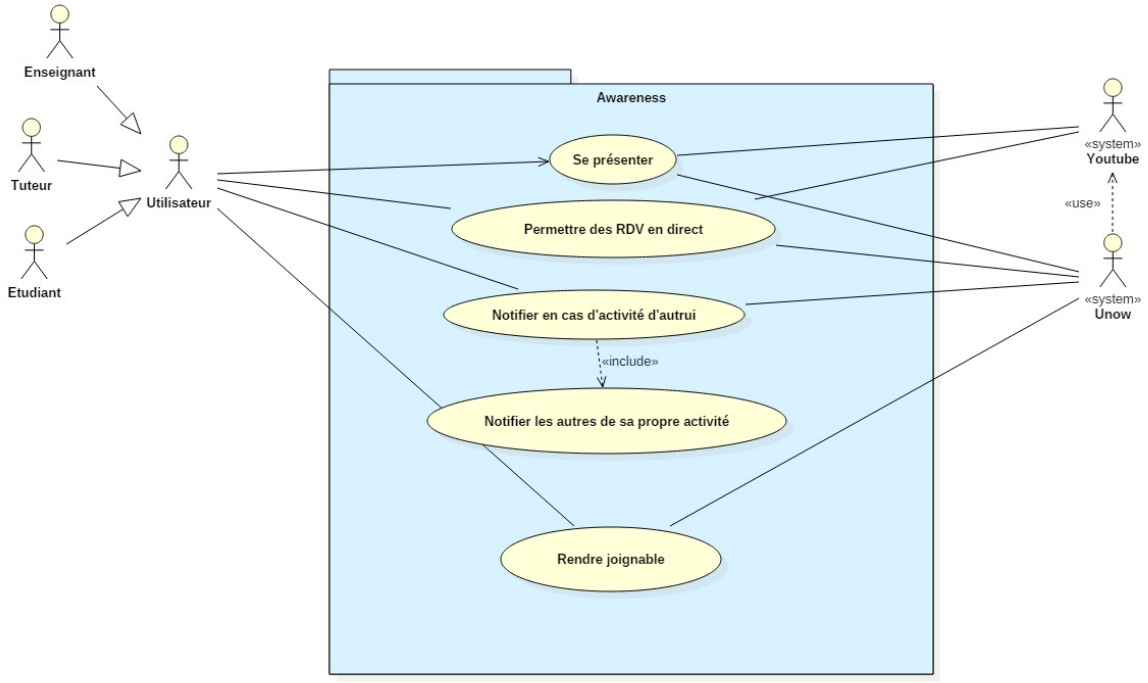


Figure 76. Diagramme du cas d'utilisation « Awareness ».

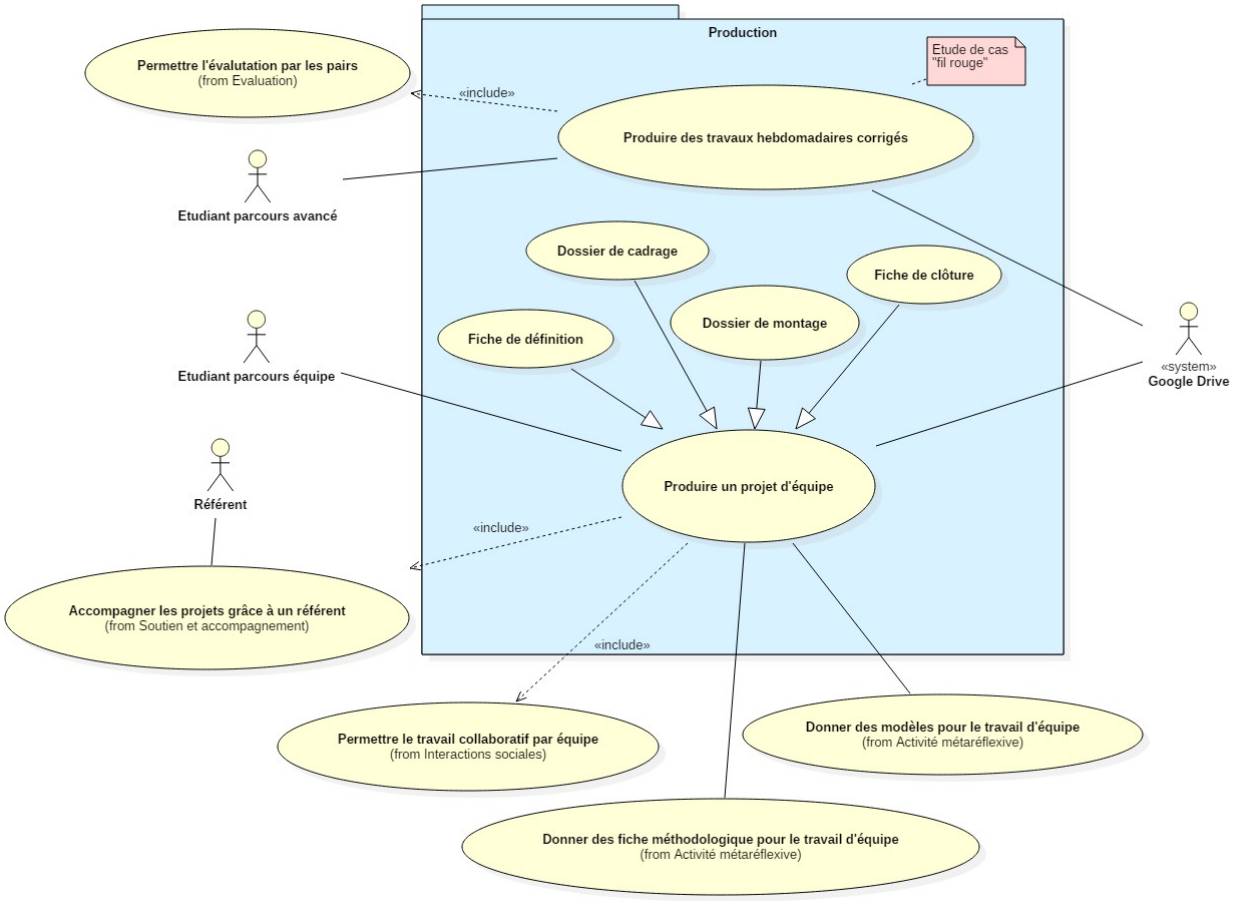


Figure 77. Diagramme de cas d'utilisation « Production ».

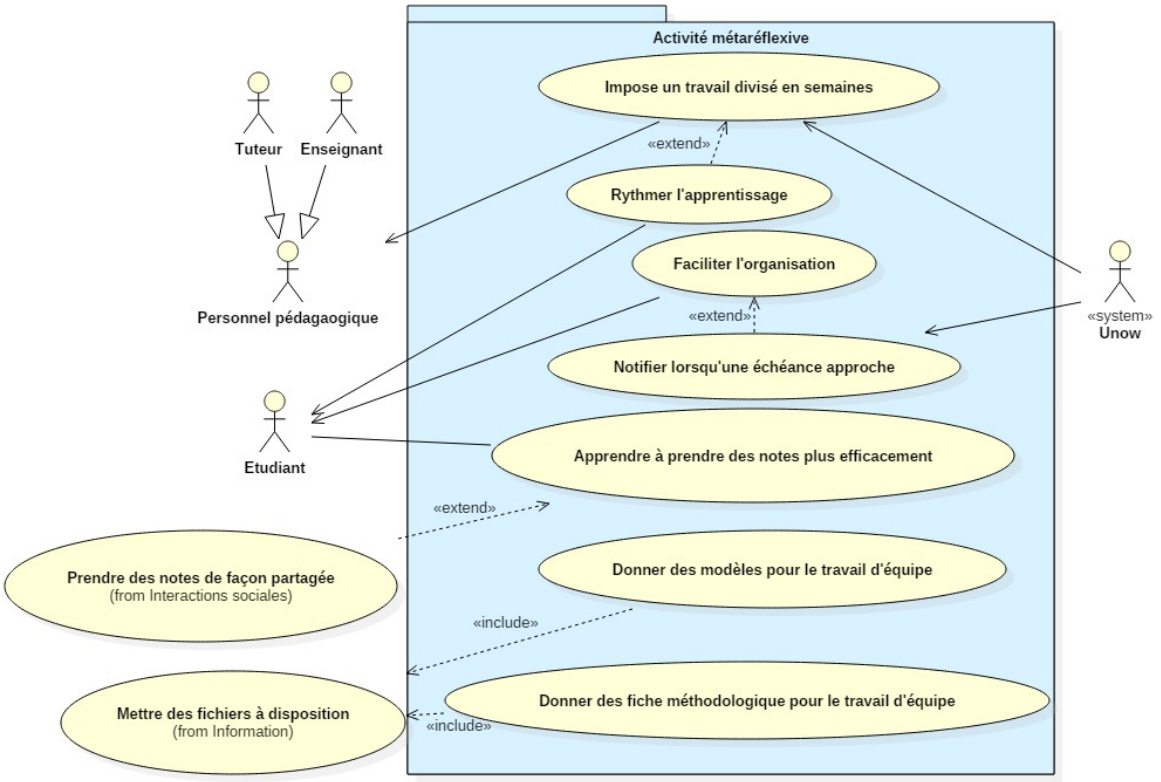


Figure 78. Cas d'utilisation « Activités métaréflexives »

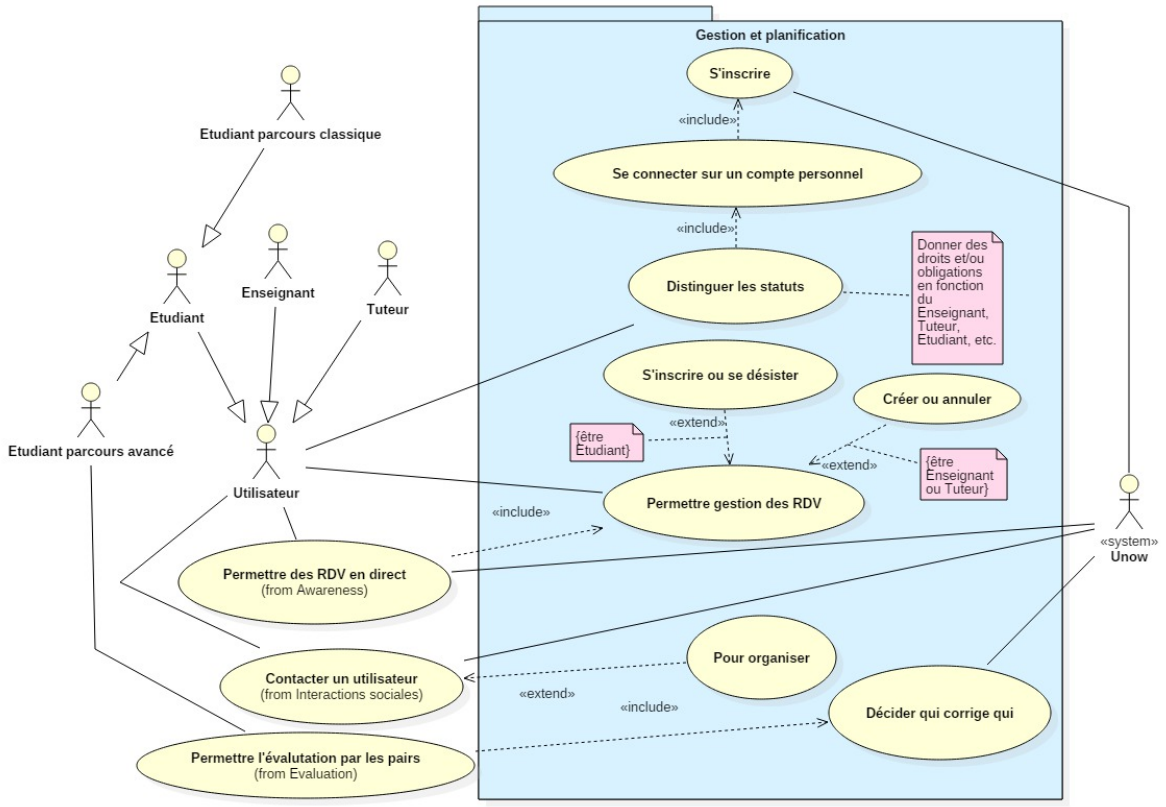


Figure 79. Cas d'utilisation « Gestion et planification ».

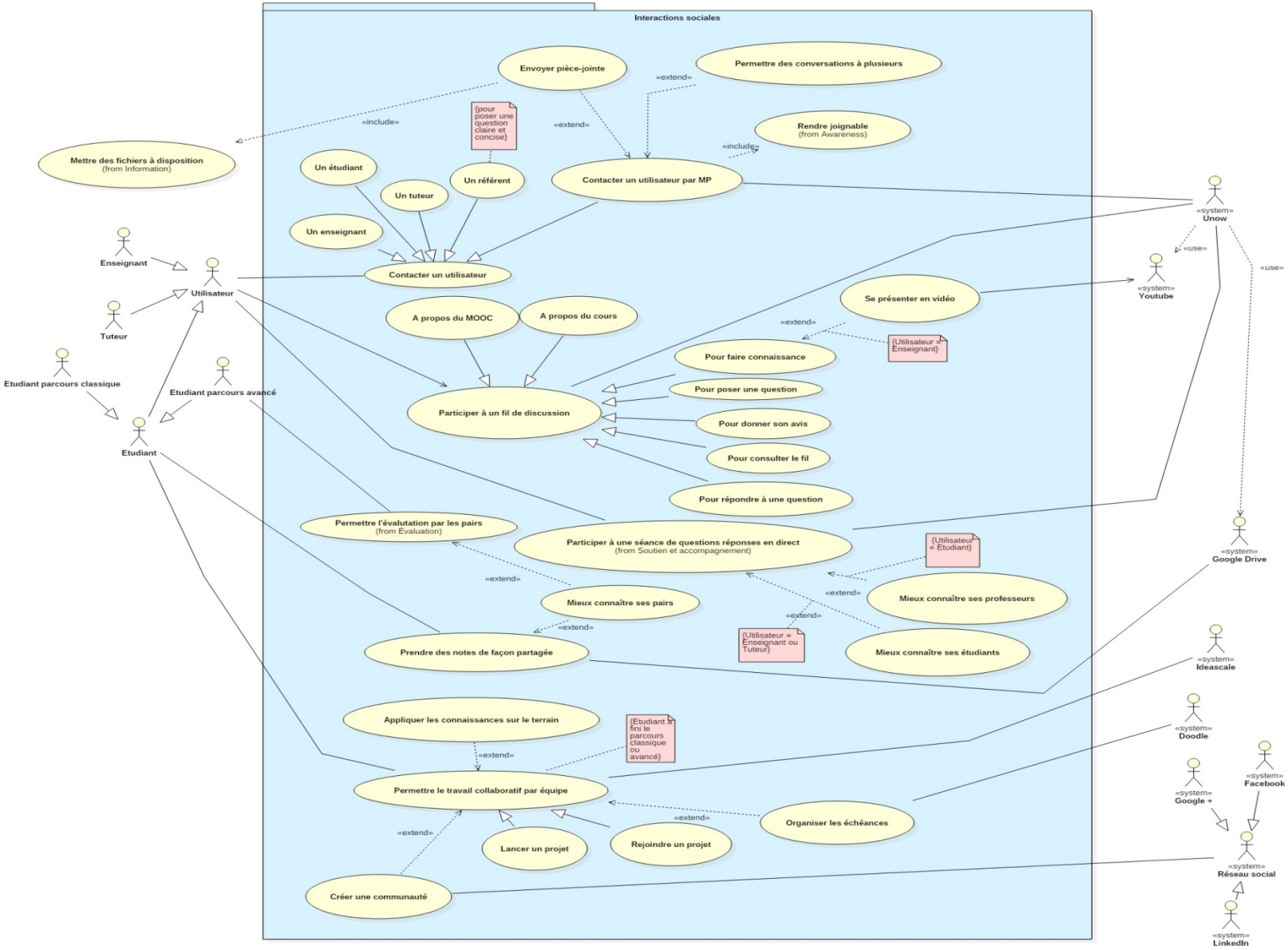


Figure 80. Diagramme du cas d'utilisation « Interactions sociales ».

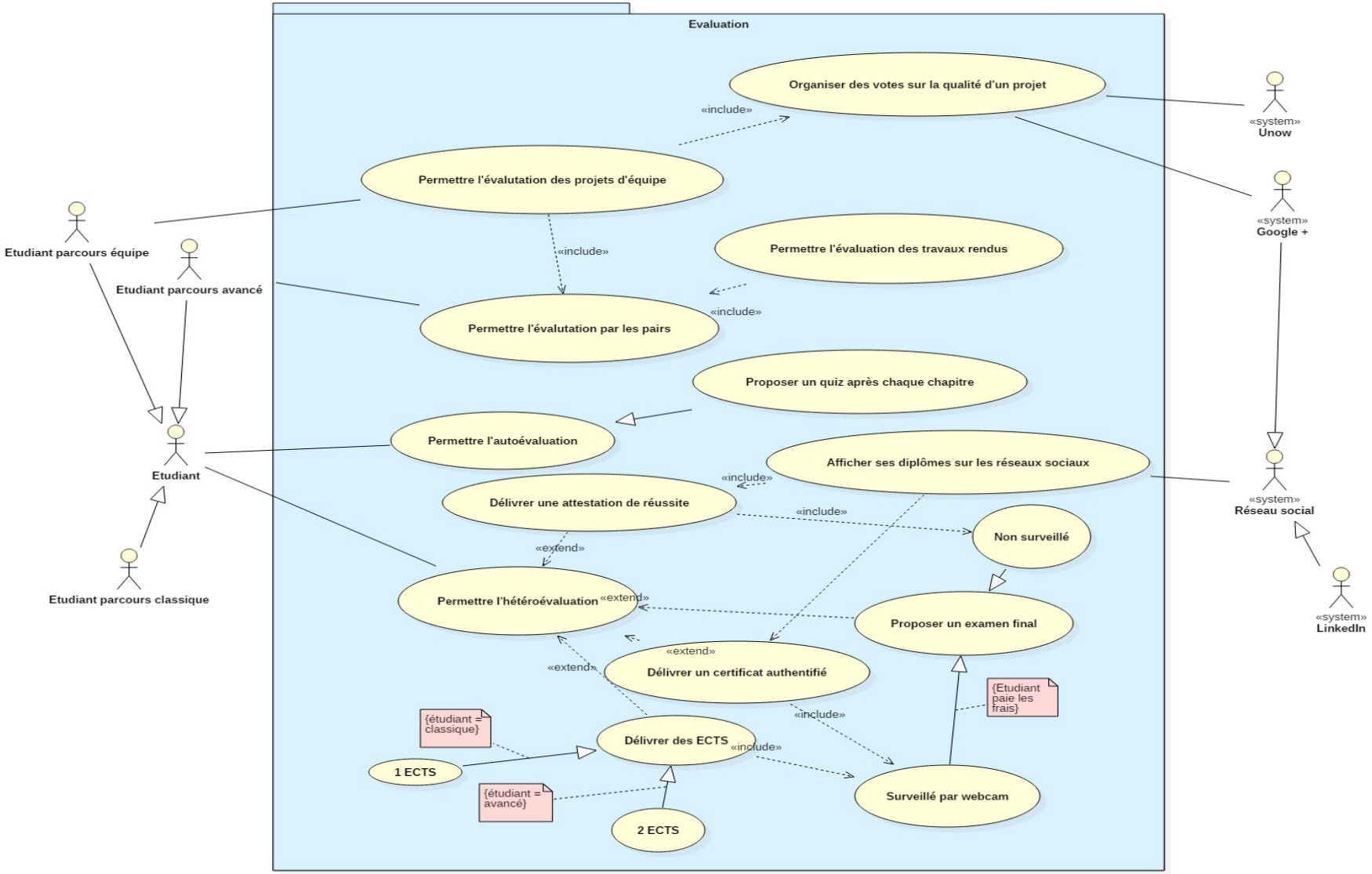


Figure 81. Cas d'utilisation « Evaluation »

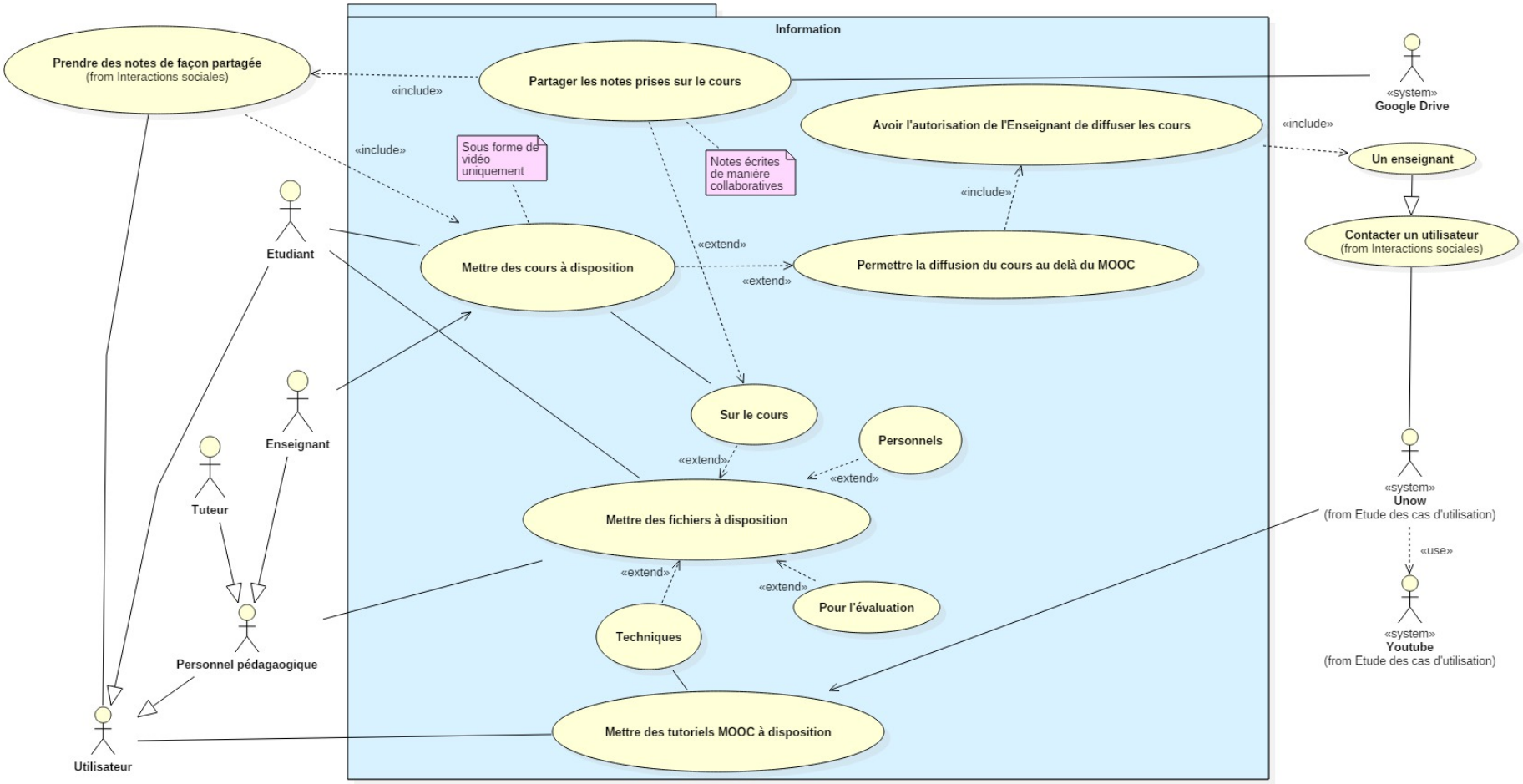


Figure 82. Cas d'utilisation « Information ».

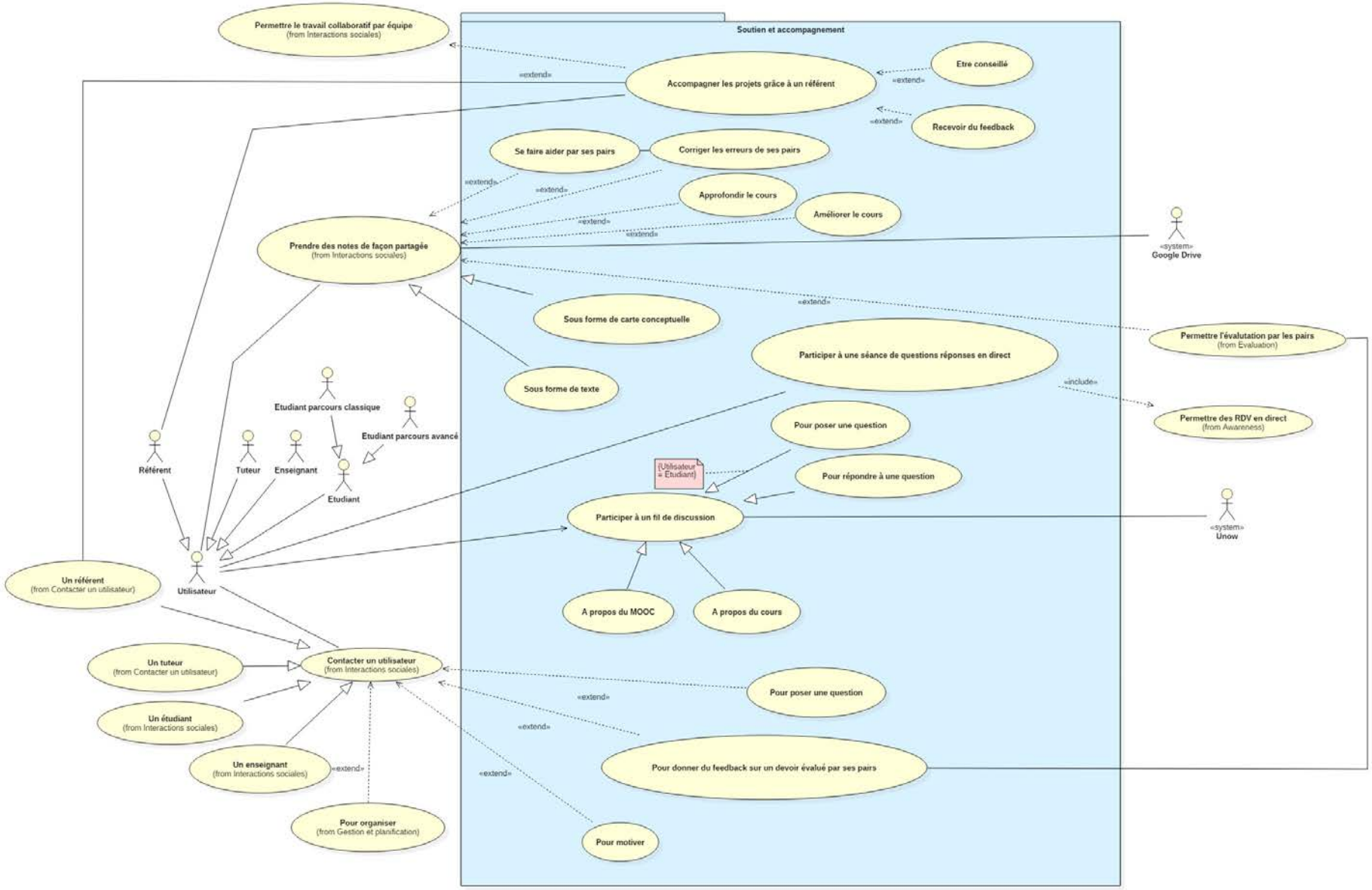


Figure 83. Cas d'utilisation « Soutien et accompagnement ».

7.1.2 Diagrammes de « classes »

Une fois les fonctions du système (ou complexes d'actions) définies, nous sommes passés à la construction des *diagrammes de classes*. Rappelons que cet ordre est important dans la démarche systémique de la complexité : celle-ci ne commence pas par décrire les constituants du système mais ses fonctions. Nous donnons ci-dessous des diagrammes de classes relativements représentatifs du projet :

- la classe « Utilisateurs » (Figure 84) ;
- la classe « MOOC » (Figure 85).

Rappelons que l'utilité des diagrammes de classes, dans la perspective d'une simulation, est qu'ils permettent de définir les différents « objets » qui interviennent dans l'activité : quels sont-ils, de quels attributs sont-ils pourvus et quelles sont les relations et actions qui existent entre ces objets ?

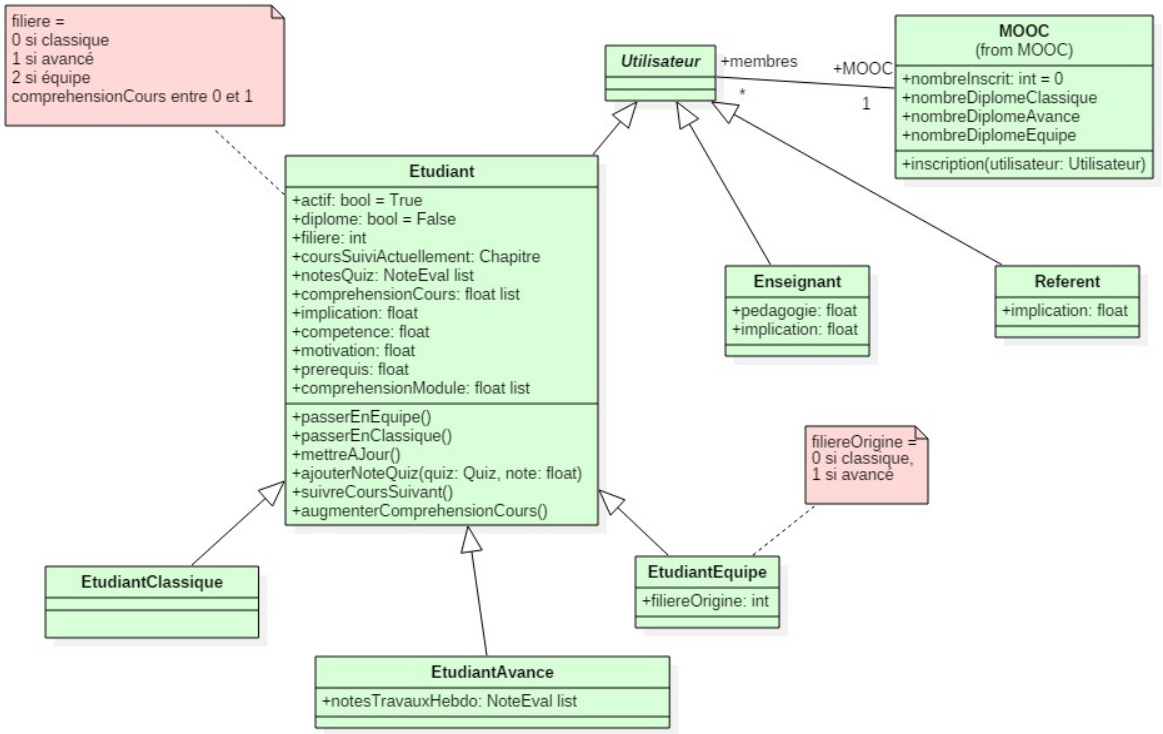


Figure 84. Diagramme de classes « Utilisateurs ».

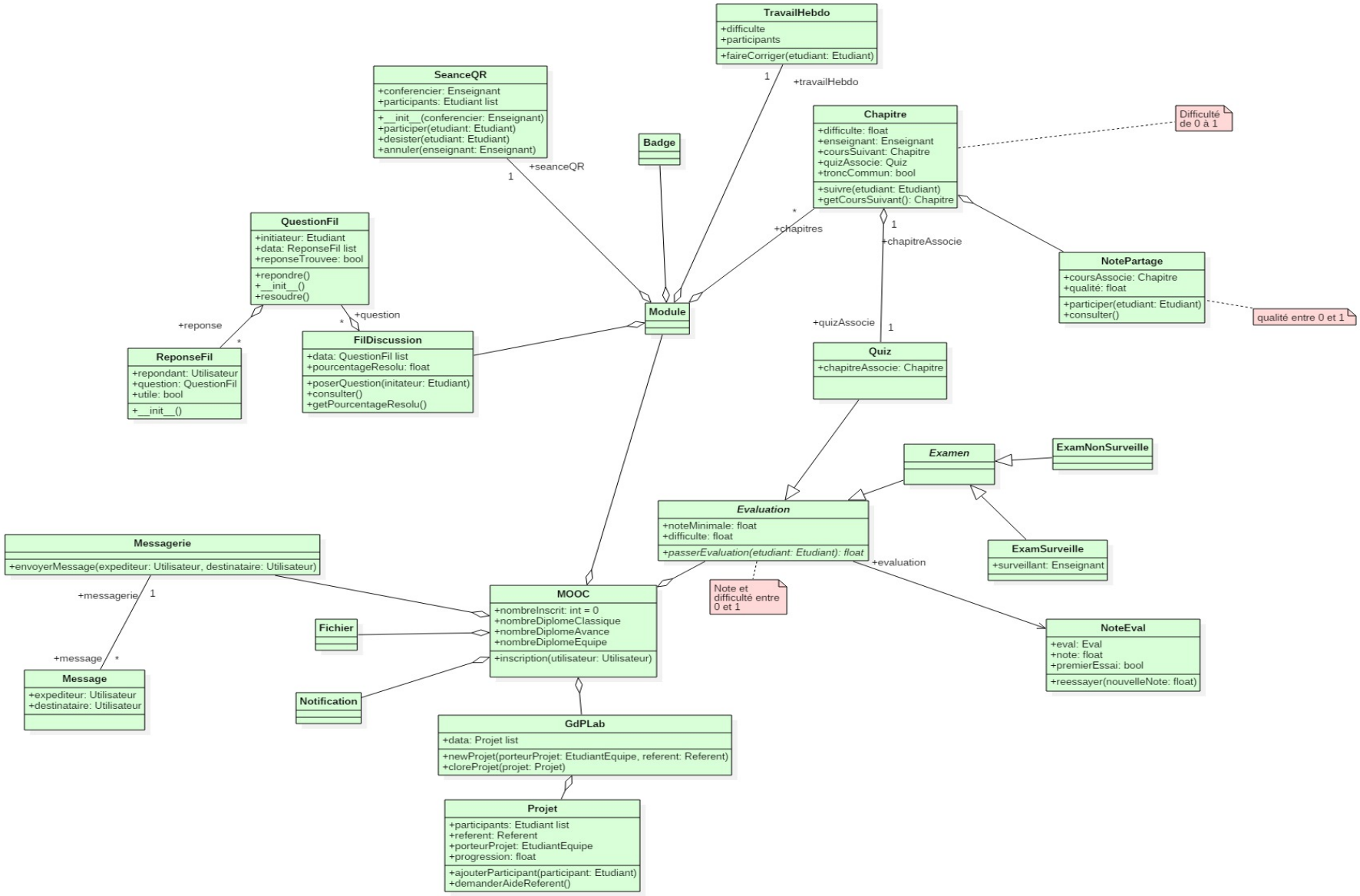


Figure 85. Diagramme de classes MOOC

Nous avons là un exemple concret qui montre que la Modélisation Orientée Objet (MOO) et la programmation du même nom sont parfaitement adaptés à l'étude des systèmes complexes. Pour le montrer, constatons d'abord que le concept de « constituant » d'un système qui est lié à d'autres constituants (ou à lui-même) par des « relations de dépendance » dans la représentation théorique d'un système complexe trouve une représentation concrète en langage UML dans le concept d' « objet » relié par des « opérations ». Par ailleurs, coder ce système en termes de « classes » rend le code indépendant des conditions initiales et des fluctuations provenant de l'environnement (bruits), lesquelles sont transcrites dans le script[194] (main.py, figure 89). Cette indépendance est assurée par une séparation nette entre l'architecture orientée objet qui énumère les paramètres et définit les interactions possibles, et d'autre part le script qui recueille et initialise les paramètres et fait appel aux opérations, interactions ou méthodes. C'est en partie cela qui rend ce type de programmation flexible.

Un autre facteur de flexibilité réside dans le fait qu'il suffit de modifier une classe pour affecter toutes ses instances.

Enfin, en comparant les langages de la Modélisation Systémique (MS) et ceux de la Modélisation Orientée Objet (MOO), il est intéressant de constater que :

- « le système *est* » en MS se trouve « incarné » dans « les attributs » en MOO ;
- « le système *fait* » en MS se retrouve dans les « méthodes »[195] en MOO qui agissent sur *d'autres* objets (et qui peuvent les faire évoluer) ;
- « le système *devient* » en M.S. se retrouve en MOO dans les méthodes propres (*feed-back*) ou externes qui respectivement rétroagissent ou agissent sur l'objet étudié. L'objet devient la cible de méthodes qui, s'appliquant sur lui, le font évoluer (méthodes qui appartiennent à l'objet ou ne lui appartiennent pas).

La MOO est très utile pour modéliser les rétroactions. Appeler une méthode dans un objet (au départ, cela se fait dans le script) engendre une cascade d'appels à divers objets qui peuvent rétroagir sur l'objet initial dont le comportement sera ensuite modifié.

7.1.3 Diagrammes d'états-transitions

Nous avons eu également recours aux diagrammes d'états-transitions UML qui reflètent, comme leur nom l'indique, les différents états des processeurs : ils caractérisent un système qui évolue. Les diagrammes d'états-transitions permettent de décrire les changements d'états possibles d'un objet en réponse aux interactions avec d'autres objets ou avec des acteurs.

Nous donnons ci-dessous à titre d'exemple le diagramme d'état-transition de l'étudiant inscrit au MOOC « Gestion de projet ».

---

[194] Le « script » est le fichier qui contient les instructions exécutables qui font appel aux « méthodes » (« opérations » en UML) des « objets ».

[195] En Modélisation Orientée Objet (MOO) ou en Programmation Orientée Objet (POO) on parle de « méthodes ». Ces « méthodes » sont appelées « opérations » en langage UML.

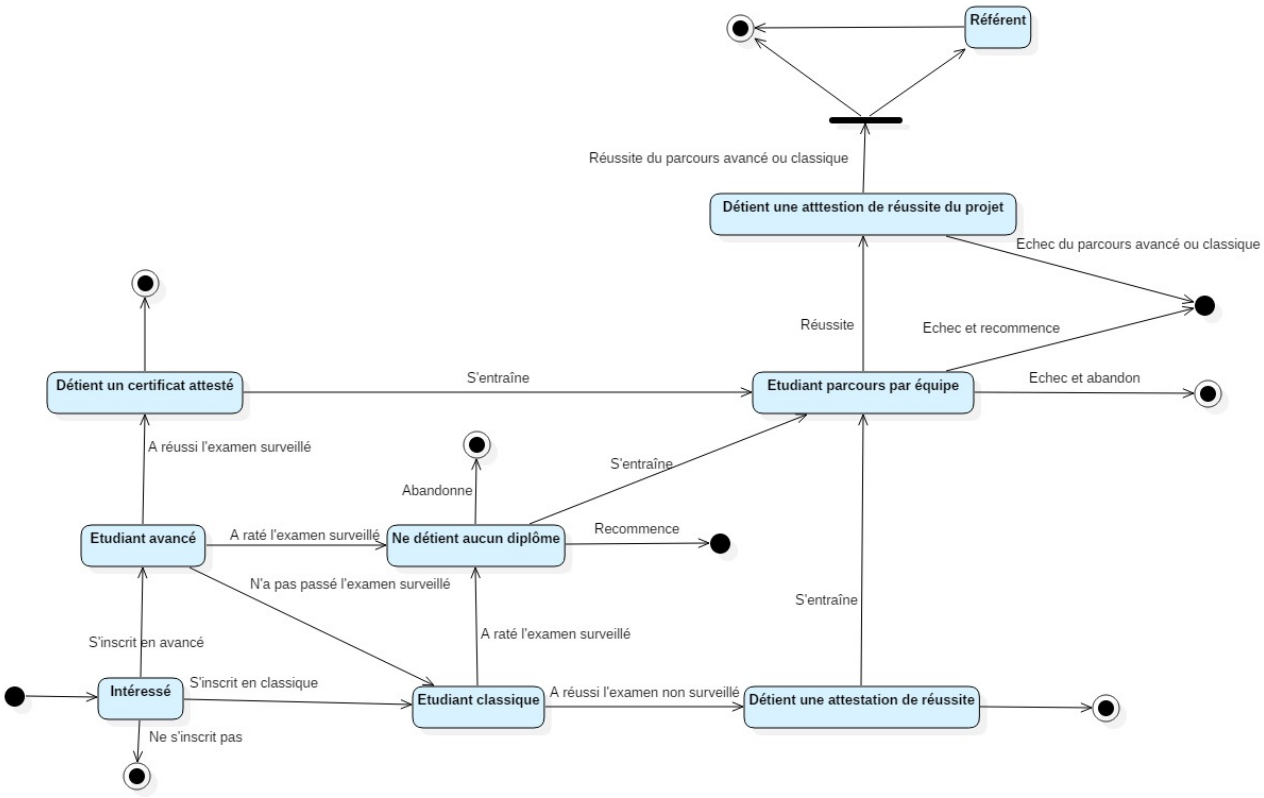


Figure 86. Diagramme d'état-transition de l'étudiant

7.1.4 Diagrammes de séquences

Les diagrammes de séquences permettent de représenter des collaborations entre objets selon un point de vue temporel. Ces diagrammes ne décrivent plus l'état des objets ; ils se focalisent sur l'expression des interactions. Ils peuvent aussi servir à illustrer un cas d'utilisation. L'ordre d'envoi d'un message est déterminé par sa position sur l'axe vertical du diagramme : le temps s'écoule « de haut en bas » de cet axe. La disposition des objets sur l'axe horizontal n'a pas de conséquence pour la sémantique du diagramme.

Les diagrammes de séquences et les diagrammes d'état-transitions sont les vues dynamiques les plus importantes d'UML.

Nous donnons à titre d'exemple deux diagrammes de séquences : celui du « cours général » (Figure 87) et celui du fil de discussion (Figure 88).

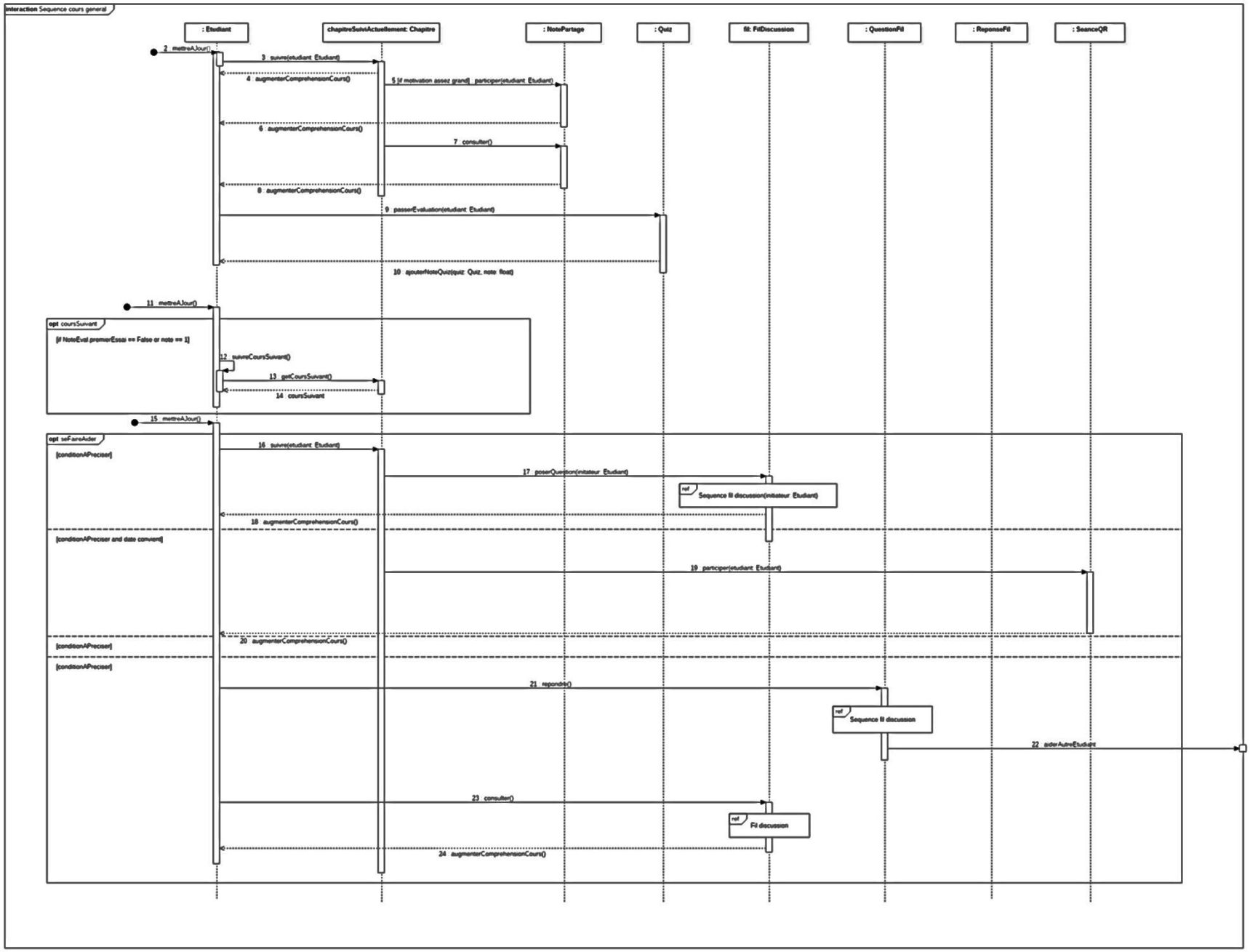


Figure 87. Diagramme de séquence « cours général ».

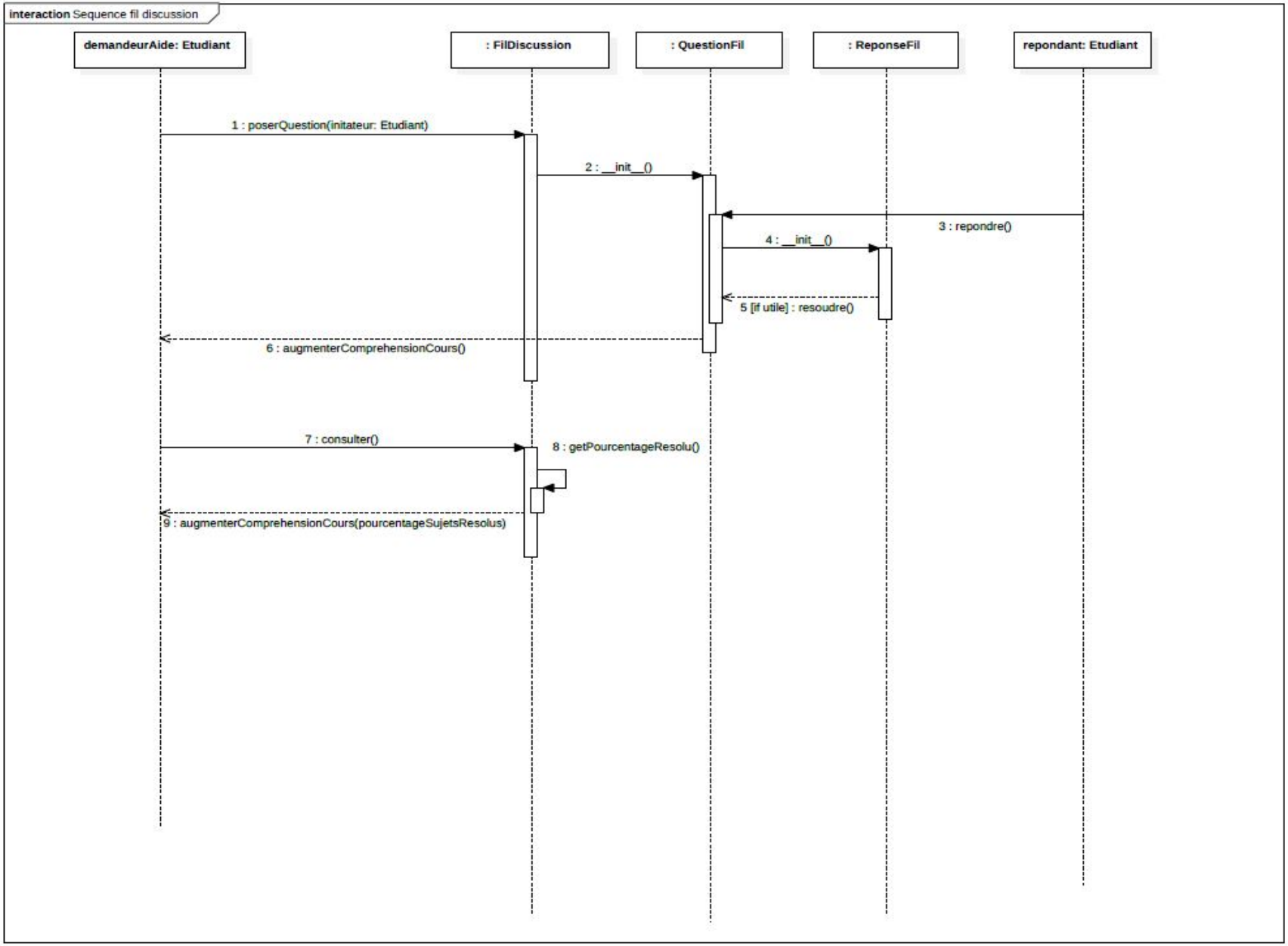


Figure 88. Diagramme de séquence du « fil de discussion ».

7.2 SIMULATION DU MOOC

La simulation repose fondamentalement sur le modèle systémique précédent. Elle se formule concrètement dans un langage de programmation orienté objet : ici en langage *Python*. D'autres langages de ce type auraient très bien pu faire l'affaire. L'exportation des *attributs* et *opérations* des objets UML vers la structure du programme Python s'est faite par une fonction d'exportation propre au logiciel de modélisation (Tools → Python → Generate code). Examinons à présent la *structure* du programme et le *script* qu'il s'agit de bien distinguer.

7.2.1 La structure du programme

La structure du programme reflète la structure du MOOC étudié ; ainsi, le MOOC « Gestion de projet » est fondamentalement constitué :

- d'un ensemble de *modules* qui eux-mêmes sont constitués d'un ensemble de *chapitres ;*
- d'un ensemble d'*utilisateurs* qui se « spécialisent »[196] en étudiants, enseignants, tuteurs, référents.

Un étudiant peut se spécialiser en « classique » ou « avancé » et, s'il a assez d'expérience, en « étudiant projet par équipe ». Un étudiant est également défini par un certain nombre d'attributs qui vont caractériser son « *apprentissage* » et « *son niveau de compréhension* » du chapitre, module ou MOOC en cours. Un étudiant peut « se mettre à jour »[197] (qui consiste à effectuer une succession d'opérations dont « lire le cours » et « répondre au quiz ») et passer au chapitre suivant (avec toutes les modifications qui en découlent sur son niveau de compréhension).

Un chapitre est composé d'attributs (difficulté, enseignant associé, quiz associé) et d'une méthode (visionner le cours). Si cette méthode est appelée, elle va en outre rétroagir sur l'étudiant (passé en paramètre) qui visionne le cours et augmenter ainsi son niveau de compréhension du cours, selon une loi dépendant de tous les paramètres.

Un quiz possède aussi un attribut (sa difficulté) et une méthode (répondre au quiz). Cette méthode a également une influence sur l'étudiant (passé en paramètre) : celui-ci se voit attribuer une note qui caractérise davantage l'étudiant.

7.2.2 Le script

Le script se déroule en trois temps marquant ainsi la dimension temporelle de la simulation (Figure 89) :

- *Initialisation du MOOC* : renseigner l'objet « MOOC » en lui affectant des modules, des chapitres et un enseignant.
- *Phase d'inscription* : affecter des étudiants au MOOC (ici pour l'exemple 900 en parcours classique et 100 en parcours avancé) ;
- *Phase d'apprentissage* : pour chaque jour de cursus, pour chaque élève, « mettre à jour » celui-ci (lui faire lire le cours, répondre au quiz, etc.). C'est à la méthode « eleve.mettreAJour() » qu'incombe cette opération.

---

[196] Formulation UML, au sens de l'héritage en MOO.

[197] « se mettre à jour » correspond à une opération qui fait appel à une succession d'opérations.

```python
import sys
sys.path.append("C:\\Users\\Marc\\Desktop\\HDR\\15. Modélisation et simulation\\Code
python\\SimulationMOOC")
#sys.path.append("C:\\Users\\Marc\\miniconda3\\lib\\site-packages\\matplotlib")
from useful import *
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np


###Imports

from Environnement.Date import Date

from MOOC.MOOC import MOOC
from MOOC.Module import Module
from MOOC.Chapitre import Chapitre
from MOOC.SeanceQR import SeanceQR

from Utilisateur.Etudiant import Etudiant
from Utilisateur.EtudiantClassique import EtudiantClassique
from Utilisateur.EtudiantAvance import EtudiantAvance
from Utilisateur.EtudiantEquipe import EtudiantEquipe
from Utilisateur.Enseignant import Enseignant

###Script


##Inititalisation MOOC
gdp = MOOC()
remi = Enseignant()
gdp.inscription(remi)

for semaine in range(5):
    module = Module(semaine, gdp)
    module.seanceQRAssociee = SeanceQR(remi)
    for k in range(4):
        module.chapitres.append(Chapitre(module, k, remi)) #pour l'instant, tous de
meme niveau de difficulte et remi est le seul enseignant
    for k in range(3): #créer le lien entre chapitres
        module.chapitres[k].chapitreSuivant = module.chapitres[k+1]
    gdp.modules.append(module)

for semaine in range(4):
    gdp.modules[semaine].moduleSuivant = gdp.modules[semaine+1]

"""
for module in gdp.modules:
    print("")
    print("")
    print(module)
    for chapitre in module.chapitres:
        print(chapitre)
        print(chapitre.chapitreSuivant)
        print(chapitre.moduleAssocie.moduleSuivant)
        print("")
"""
##Phase inscription

for k in range(900):
    gdp.inscription(EtudiantClassique())

for k in range(100):
    gdp.inscription(EtudiantAvance())

##Phase MOOC
```

```
date = Date()
time = []
comprehensionCours = []

while date.semaine <= 9:
    time += [date.date]
    comprehensionCours += [0]
    for utilisateur in gdp.membres:
        if utilisateur.isEtudiant():
            #C'est ici qu'il faut agir pour changer le graphe
            #Decommenter la ligne suivante pour avoir le graphe de la comprehension
totale
            #comprehensionCours[-1] += utilisateur.comprehensionTotale

            #Decommenter la ligne suivante pour avoir le graphe de la comprehension
du module en cours
            comprehensionCours[-1] += utilisateur.comprehensionModule

            #Decommenter la ligne suivante pour avoir le graphe de la comprehension
du chapitre en cours
            #comprehensionCours[-1] += utilisateur.comprehensionChapitre


            #Le dimanche soir, il faut terminer le module, no choice ---> il faut
encore gerer l'abandon !
            """if date.jour == 6:
               utilisateur.forcerNouveauModule()"""

            utilisateur.mettreAJour()
    date.incr()
for k in range(len(comprehensionCours)):
    comprehensionCours[k] /= gdp.nombreInscrit

plt.plot(time, comprehensionCours)
plt.show()
```

Figure 89. Le script main.py

7.2.3 Fichiers connexes

Bien d'autres fichiers sont évidemment associés à ce script, mais n'étant pas immédiatement indispensables à la compréhension du programme, nous avons préféré n'en fournir que quelques-uns en exemple (Annexe 3, 4, et 5) pour ne pas surcharger inutilement cette note de synthèse.

7.2.4 Paramètres qui entrent en jeu et valeurs d'initialisation

Dans cet exemple de simulation, les paramètres qui caractérisent les principaux objets sont :

- pour l'étudiant : son implication, sa compétence, sa motivation, ses prérequis, choisis au hasard uniformément entre 0 et 1 ;
- pour le cours : sa difficulté fixée à 0.5 par défaut ;
- pour l'enseignant (il n'y en a qu'un) : sa pédagogie, son implication fixées à 1 par défaut.

Notons au passage que si tous les paramètres énoncés étaient à 1, la simulation prévoit que l'étudiant comprendrait tout parfaitement du premier coup.

Nous avons donc attribué à l'étudiant une note aléatoire suivant une loi normale centrée sur son niveau de compréhension avec un écart type de 0.1. Par exemple, si son niveau de compréhension est de 0.6 il obtiendra probablement la note de 0.6 à son *quiz* mais pourra aussi obtenir la note de 0.5 ou de 0.7.

7.2.5 Progression dans les chapitres

Un étudiant essaie toujours le *quiz* deux fois pour avoir la meilleure note possible, sauf s'il a obtenu une note de 1 au premier quiz. S'il a obtenu 1 au premier quiz ou s'il a tenté deux fois le *quiz*, il passe au chapitre suivant. Sinon, il passe le quiz avec une probabilité de 0.6.

7.3 RESULTATS DE LA SIMULATION

Serait-ce surprenant que d'obtenir des résultats de la simulation qui ne correspondent en rien à ceux que nous nous attendions à observer ? Pas vraiment si l'on s'en réfère aux théories de la MS développées jusqu'ici. Selon ces dernières, nous devrions au contraire nous attendre à observer des phénomènes inattendus voire des effets contre-intuitifs. Et c'est bien de ces derniers dont nous avons été témoin. Voulant en effet étudier les variations du niveau de compréhension du cours par les étudiants en fonction de conditions initiales aléatoires, nous nous attendions à obtenir des niveaux de compréhension différents. Et contre toute attente, nous avons plutôt observé une étonnante régularité dans la réponse du système (homéostasie).

Mais ne nous y trompons pas, ce n'est pas tant ce résultat qui nous intéresse en premier lieu ; c'est plutôt la démarche mise en œuvre pour y parvenir. Ceci dit, revenons en détail sur ce que la modélisation systémique du MOOC et sa simulation nous ont permis de découvrir.

L'un des phénomènes observables du modèle très simplifié présenté ici en exemple est une représentation du niveau de compréhension des étudiants. Celui-ci se situe à trois niveaux :

- Niveau de compréhension du chapitre (*niveauComprehensionChapitre*), qui correspond à la compréhension du chapitre dont l'étude est en cours ;
- Niveau de compréhension du module (*niveauComprehensionModule*), qui correspond à la compréhension du module dont l'étude est en cours ;
- Niveau de compréhension total (*niveauComprehensionTotale*), qui correspond à la compréhension du MOOC entier.

Notons que le niveau de compréhension du module est la moyenne des niveaux de compréhension de l'ensemble des chapitres du module et que le niveau de compréhension total du cours est la moyenne de tous les niveaux de compréhension de tous les chapitres proposés dans le MOOC.

Nous donnons dans les paragraphes qui suivent la moyenne de tous les étudiants des trois grandeurs précitées en fonction du temps.

7.3.1 Niveau de compréhension total

La courbe ci-dessous correspond à la moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension *total* du MOOC, de tous les étudiants en fonction du temps (en jours).

On observe une compréhension croissante qui ralentit vers la fin du MOOC. Ce ralentissement s'explique par le fait que les étudiants les plus rapides ont déjà fini le MOOC et s'arrêtent de progresser.

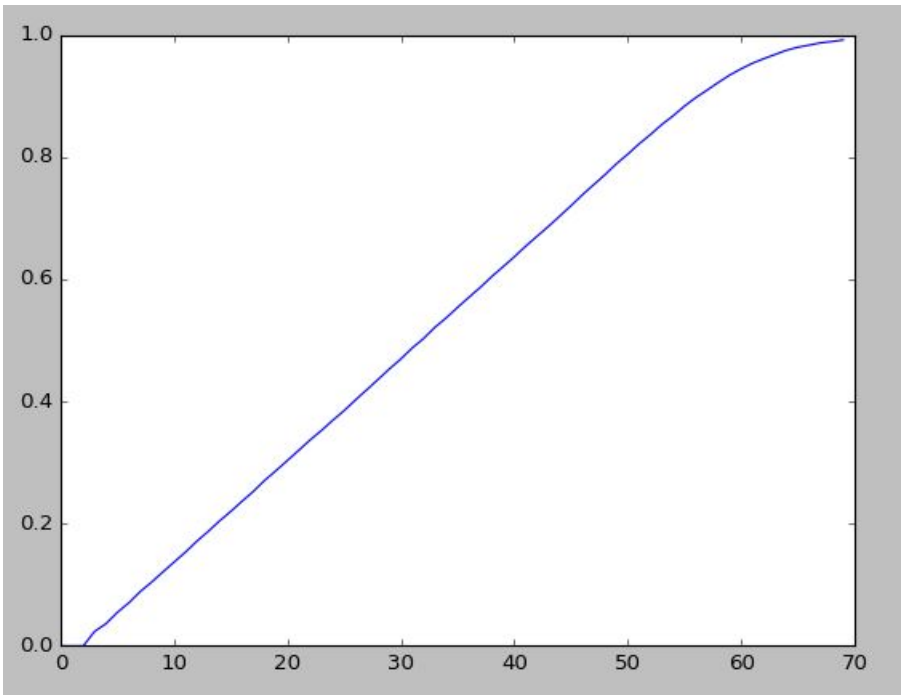


Figure 90. Moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension total du MOOC de tous les étudiants/jour.

7.3.2 Niveau de compréhension du module

La courbe ci-dessous correspond à la moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension *du module* de tous les étudiants, en fonction du temps (en jours).

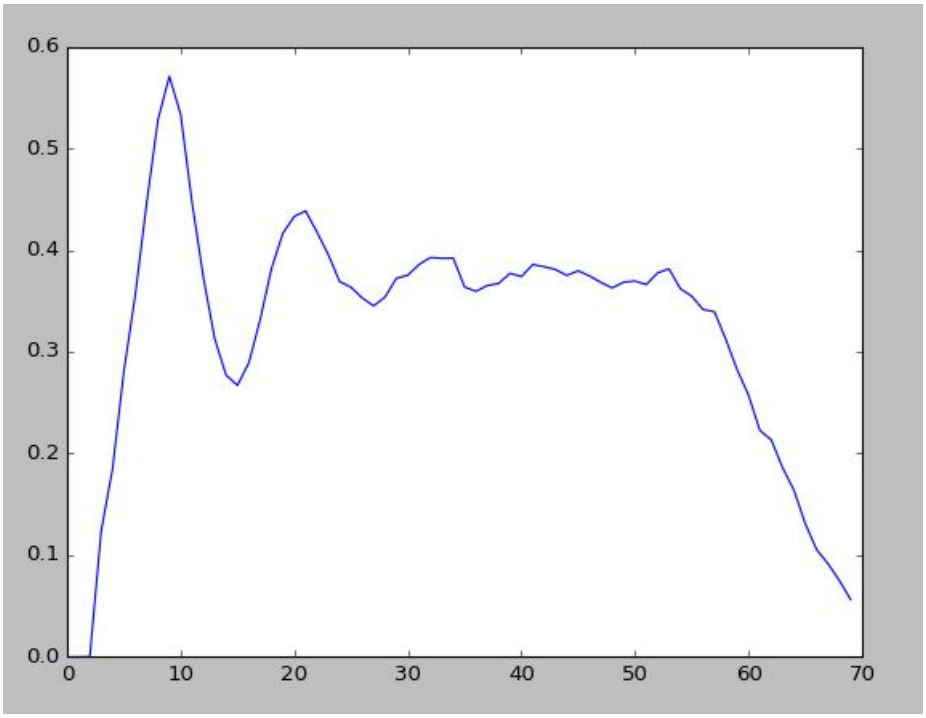


Figure 91. Moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension du module de tous les étudiants/jour.

La forme de cette courbe nous conduit à faire quatre observations :

- **Première observation : des oscillations.**

Elle s'explique par le fait qu'un étudiant voit son niveau de compréhension du module évoluer « en dents de scie » : il augmente sa compréhension pendant le module et lorsqu'il passe à un module suivant, il recommence avec un niveau de compréhension nul. Ceci est tout à fait normal car il recommence à s'approprier de nouvelles connaissances. Mais l'on observe également une oscillation de la valeur de cette grandeur lorsque l'on considère la moyenne de tous les étudiants.

- **Deuxième observation : les oscillations amorties**

La courbe représente clairement des oscillations amorties (on peut même s'aventurer à y voir une amplitude qui décroît en exponentielle décroissante…). Ceci s'explique par un déphasage progressif des étudiants. Au début du MOOC, tous les étudiants commencent en même temps, ce qui se traduit par une croissance très rapide, puis ils sont confrontés à un nouveau module tous en même temps, ce qui se traduit par une décroissance très rapide. Mais comme les étudiants apprennent à des rythmes différents, certains se retrouvent à la fin d'un module et ont donc un niveau de compréhension élevé, alors que d'autres ont déjà commencé un nouveau module et ont un niveau de compréhension bas. En sciences physiques, on appelle cela un phénomène de dispersion : le paquet d'onde s'atténue car les vitesses de phase des différentes ondes harmoniques superposées sont différentes.

- **Troisième observation : à la fin du MOOC, le niveau de compréhension chute**

Nous expliquons ce phénomène par des raisons techniques. Lorsqu'un étudiant a fini le cursus du MOOC, il n'est plus associé à un module et son niveau de compréhension du module reste

donc nul. Cette chute traduit donc que différents étudiants ne terminent pas le MOOC en même temps.

- **Quatrième observation : on observe une certaine régularité dans la réponse du système soumis aux variations des conditions initiales**

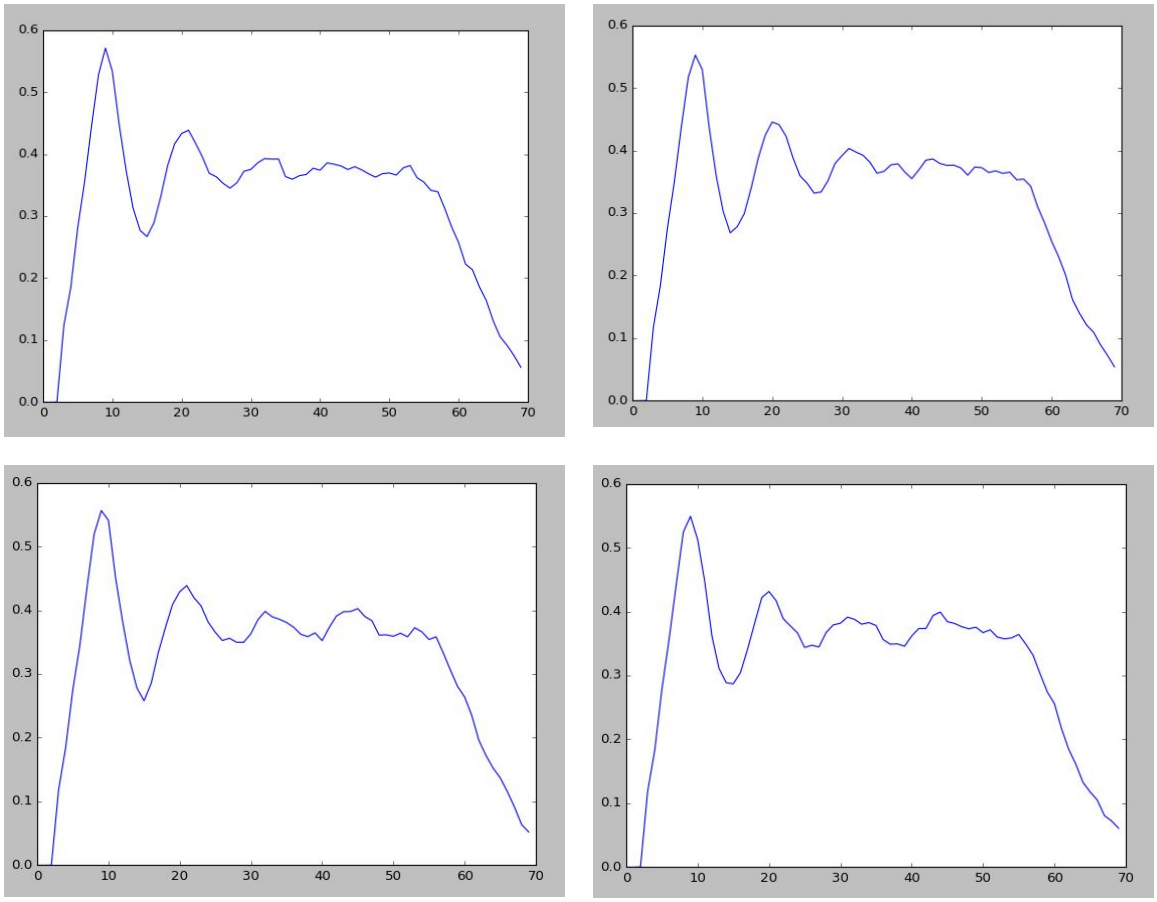


Figure 92. Moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension du module de tous les étudiants/Jour/expérience aléatoire.

En réponse aux paramètres complètement aléatoires fournis au système, on peut remarquer des fluctuations locales sur le graphe (surtout dans la partie amortie) lorsque les conditions initiales changent (pour des expériences différentes) mais la forme globale de la courbe (oscillations amorties) reste sensiblement la même.

7.3.3 Niveau de compréhension du chapitre

On observe un phénomène analogue pour le niveau de compréhension *du chapitre.*

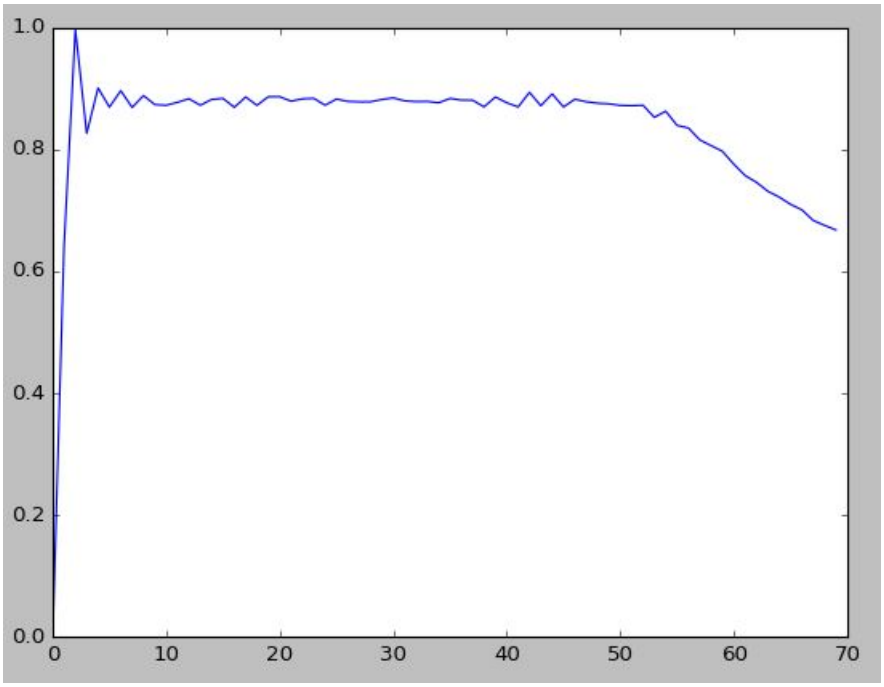


Figure 93. Moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension du chapitre de tous les étudiants/jour.

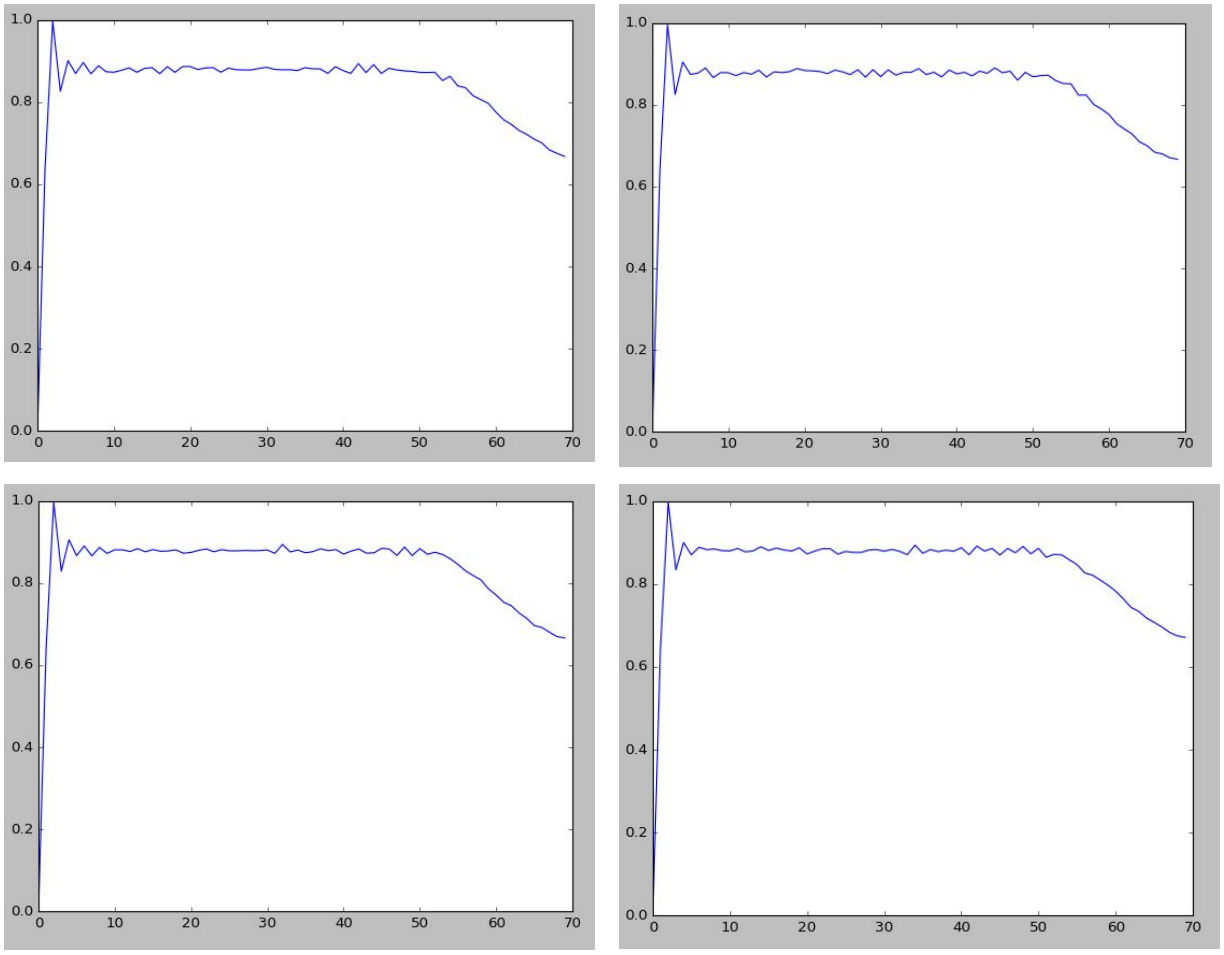


Figure 94. Moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension du chapitre de tous les étudiants/jour/expérience aléatoire.

A ce stade, il serait audacieux de conclure immédiatement à l'existence d'un quelconque phénomène émergent révélant la stabilité du système (ou son caractère homéostatique) dès lors qu'il est soumis à des conditions initiales très différentes. Il nous faudrait pour cela passer plus de temps à étudier cette régularité et essayer d'autres tests ; et ce n'est pas le but recherché ici. Néanmoins, ce résultat laisse présager la possibilité d'identifier, voire de démontrer la récurrence d'un comportement lors d'évènements différents (variations des conditions initiales) et de permettre d'en révéler les causes et les mécanismes généraux, pour en décrire enfin les différentes formes.

7.4 MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS OBTENUS

On pourrait se dire que l'étude d'une variable « comprehensionChapitre » n'a pas grand intérêt car elle ne reflète par le niveau réel d'un inscrit. On peut cependant imaginer qu'un inscrit comprenant peu le cours qu'il lit (donc débutant le cours) aura plus tendance à poser des questions sur un forum alors qu'un inscrit comprenant bien le cours (finissant le cours) serait plus autonome. Cela pourrait se traduire par une fréquentation des forums également oscillante, et de plus, amortie. Il faudrait le vérifier dans les faits ; mais si cela était avéré, ce résultat serait utile pour éventuellement prévoir le nombre suffisant de tuteurs présents sur le forum pour répondre aux questions des inscrits.

Un tel modèle, bien évidemment étoffé et adapté, peut permettre d'observer des phénomènes inattendus, dont on peut confirmer ou infirmer la validité sur le terrain. Mais de tels modèles se révèlent supérieurs à la simple observation, car ils permettent d'avoir accès à tous les états de tous les participants à tout instant, rendant possible l'observation de n'importe quelle grandeur.

Ce qu'il est aussi important de retenir, c'est que le résultat obtenu était peu prévisible *a priori* ; et on ne pense pas forcément intuitivement qu'il faille étudier la fréquentation des forums dans le temps…

Ce ne sont évidemment que des exemples qui peuvent paraître futiles par rapport au travail de modélisation que cela requiert. Mais ils nous poussent néanmoins à croire que ce programme (construit selon la démarche de modélisation préconisée) n'a été ici (par manque de temps et de moyens) que trop peu exploité alors qu'il offre déjà, tel qu'il est, un potentiel intéressant pour l'analyse du comportement du MOOC de Rémi Bachelet. Il va sans dire que nos objectifs sont à présent de développer ce modèle et son programme de simulation pour produire d'autres connaissances sur les MOOC et plus généralement sur les ENA de dernière génération. Il existe en effet aujourd'hui un certain nombre de techniques de simulation qui permettent d'observer le comportement de systèmes complexes à des degrés très variés d'abstraction et de détail.

8. Programme de recherche

Notre programme de recherche s'inscrit sans surprise dans le prolongement de nos travaux en cours et vise clairement à développer plus avant nos récents modèles d'ENA, de manière à pouvoir répondre aux nombreuses questions de recherche qui se posent actuellement concernant leur efficacité (en termes d'apprentissage, de formation, de diplomation, …), leur comportement (comment se comportent-ils face à la complexité) et leur devenir (sont-ils de simples « *buzz* », ou sont-ils au contraire pérennes, ...), etc.

Concrètement, la « Modélisation Systémique » sera la démarche que nous adopterons prioritairement. Elle constituera le point d'entrée commun aux travaux à venir. Par contre, nos modèles pourront être construits à partir de données variées (cf. § 6.5) et viser des objectifs différents, en particulier :

- l'étude de comportements adaptatifs non programmés au moyen d'une simulation du dispositif étudié ;
- l'étude de quelques ENA à partir des données récoltées par des enquêtes, des tableaux de bord, des techniques de *tracking* et des entretiens en vue d'études statistiques descriptives (*clustering*).

Apportons ci-dessous quelques précisions relatives à chacun des deux axes de ce programme.

Le premier a déjà fait l'objet d'une description précise au chapitre 7. Nous allons néanmoins préciser au paragraphe 8.1 nos objectifs à court et moyen termes.

Le deuxième sera illustré au paragraphe 8.2 par un travail qui porte sur une analyse comparative de dispositifs d'aide mis en œuvre dans trois MOOC différents : « Gestion de projet », « Monter un MOOC de A à Z » et « EFAN Maths ».

8.1 RECHERCHE ET ETUDE DE COMPORTEMENTS ADAPTATIFS NON PROGRAMMES

Les comportements adaptatifs qui seront recherchés et étudiés porteront sur tous les constituants du système ENA : les différents acteurs de la formation (apprenants, enseignants, tuteurs, concepteurs, techniciens, personnel administratif et de gestion), mais aussi les *artefacts* (pédagogiques, didactiques, techniques).

Nous avons vu que « la complexité apparaît et se développe avec l'émergence d'une capacité d'autonomie au sein du système : ses comportements sont élaborés par le système lui-même de façon endogène, ouvert sur ses environnements qui le sollicitent et le contraignent (lui interdisant certaines formes d'action *a priori* possibles) et en transaction avec eux. Il n'en est pas pour autant complétement dépendant : ayant ses projets propres, il est capable d'intelligence » (Çaçi, 2000, p.22). L'intelligence d'un système complexe est « sa capacité à élaborer et concevoir de façon endogène ou interne ses propres comportements : ses réponses adaptatives et donc projectives (ou intentionnelles) à ce qu'il perçoit comme des sollicitations de son environnement » (Le Moigne, 1999, p. 81).

La modélisation systémique est capable de rendre compréhensible l'émergence ou l'apparition d'un comportement adaptatif non programmé (e.g. des étudiants qui découvrent une stratégie permettant de résoudre un problème reconnu jusqu'ici insoluble). H.A. Simon a

d'ailleurs caractérisé un système complexe par un système d'actions intelligentes (*Ibid.*, p.81). Ses études sur la *rationalité limitée*[198] l'ont conduit à s'intéresser *aux organisations* et aux procédures de décisions ainsi qu'à l'intelligence artificielle (à base d'informatique) dont il a été un des pionniers aux États-Unis. Depuis les années 1960, l'informatique permet de représenter les systèmes complexes sous forme de programmes et d'en reproduire artificiellement le fonctionnement par la simulation. La théorie dite de « cognitivisme computationnel » consiste à étudier les opérations réalisées par un ordinateur et à les comparer aux processus de pensée. Si le mental peut être considéré comme l'outil humain du traitement de l'information, c'est l'organisation qui joue ce rôle dans un système complexe. Simon (1981, p. 65) posait l'hypothèse qu'un « humain considéré comme « un système comportemental » est assez simple en définitive. La complexité apparente de son comportement au fil du temps est en grande partie le reflet de la complexité de l'environnement dans lequel il se trouve »[199] (Simon, 1981, p. 65). Si nous partageons l'idée que la complexité comportementale d'un individu provient principalement de la complexité de son environnement, nous pensons néanmoins que le système cognitif humain doit aussi être considéré comme un système à complexité naturelle (Cf. § 5.1.1.3). Mais la question ici est plutôt de reconnaître que la complexité réside surtout dans l'environnement d'apprentissage de l'apprenant et que c'est la complexité de cet environnement qui explique principalement la complexité apparente de son comportement. C'est pour cette raison que nous nous tournons vers la modélisation systémique de la complexité qui doit nous permettre d'identifier certains comportements émergents que nous qualifions de comportement adaptatifs non-programmés, et ceci par simulation.

Notre intention n'est donc pas de concevoir un *environnement adaptatif* (§ 3.4.3) tel que nous l'entendons souvent dans le monde des EIAH. Ce projet qui n'est pas le nôtre renvoie plutôt à de l'ingénierie pédagogique dont l'objectif serait de faire en sorte que l'ENA puisse répondre à toutes sortes de sollicitations préalablement identifiées et répertoriées. Plusieurs recherches sont d'ailleurs en cours sur ce sujet. De notre côté, c'est au contraire parce que nous postulons que le phénomène est complexe que nous ne croyons pas pouvoir l'analyser dans le détail. Par contre, en reconnaissant ses capacités auto-organisatrices « naturelles », les outils de la modélisation systémique doivent nous aider à mieux comprendre son comportement à des fins d'analyse et/ou de prédiction.

« L'hypothèse *Système complexe = Système autonome = Système intelligent* permet de proposer une procédure de modélisation rendant compte de la capacité d'un système complexe à élaborer *à la fois* ses propres projets et ses propres intentions d'actions visant à adapter ses comportements et son organisation à ses finalités […]. On dispose ainsi d'une règle de la modélisation systémique : un système complexe est autonome (Le Moigne, 1999, p. 81).

Notre projet qui se précise semble pouvoir également tirer parti de la théorie dite de « l'auto-organisation critique » appliquée aux ENA. C'est une théorie de la complexité qui permet « d'étudier les changements brutaux du comportement d'un système. Cette théorie enseigne que certains systèmes, composés d'un nombre important d'éléments en interaction dynamique, évoluent vers un état critique, sans intervention extérieure et sans paramètre de

---

[198] « Il porte sur l'étude du comportement d'un individu (ici appelé acteur) face à un choix (l'achat d'un produit, le vote...). Il suppose que l'acteur économique a un comportement rationnel, mais que sa rationalité est limitée en termes de capacité cognitive et d'information disponible. Dès lors, l'acteur va généralement s'arrêter au premier choix qu'il jugera satisfaisant » (Herbert Simon, mis à jour 2016, 15 juillet)

[199] Traduction de l'auteur: "A man, viewed as a behaving system is quite simple. The apparent complexity of its behavior over time is largely a reflection of the complexity of the environment in which he finds himself" (Simon, 1981, p. 65).

contrôle. L'amplification d'une petite fluctuation interne peut mener à un état critique et provoquer une réaction en chaîne menant à une « catastrophe » (au sens de changement de comportement d'un système) » (Provitolo, 2008, p.2).

Mais comme le montre d'ailleurs notre simulation prise en exemple au chapitre 7, notre projet peut également nous conduire à repérer *des régularités (des récurrences) comportementales, ou des phénomènes homéostatiques* malgré qu'il soit la cible d'évènements très différents ou l'objet de conditions initiales différentes. Notre travail serait alors de chercher à en connaître les causes, à découvrir les mécanismes qui sont mis en jeu, et d'en décrire les différentes formes.

Le point commun entre ces deux « réponses » si différentes du système est que le résultat de la simulation n'est pas prévisible *a priori*. Le premier peut nous conduire à un changement de comportement brutal, alors que le second révèle au contraire sa capacité à absorber des perturbations extérieures pour maintenir un équilibre et une régularité comportementale. Mais dans les deux cas, nous ne pourrons prédire avec certitude qu'ils agiront d'une façon ou d'une autre (effets contre-intuitifs).

Concrètement, il s'agit de créer des modèles à partir desquels on simule des scénarios d'évolution en faisant varier tels ou tels paramètres, telles ou telles conditions initiales, en répétant un grand nombre de fois l'expérience. « L'ordinateur devient alors le laboratoire virtuel du chercheur et la simulation s'entend comme une expérimentation sur un modèle, une expérience numérique (Colonna, 1993). On retrouve là l'idée d'ordinateur macroscope de J. de Rosnay (1975), au sens où l'ordinateur, grâce à ses capacités de simulation, est un « outil d'observation directe de la complexité » (de Rosnay, 1995) » (Provitolo, Dubos-Paillard, Verdière, Lanza, Charrier, Bertelle, et Aziz-Alaoui, 2015, 7 de paragraphe).

8.2 MODELISATION SYSTEMIQUE EN AMMONTD'UNE STATISTIQUE DESCRIPTIVE

A l'occasion de la 7e édition de la conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) à Agadir le 2 juin 2015, nous avons présenté une contribution pour l'atelier 1 portant sur « la notion d'aide en contexte numérique d'apprentissage » (Cf. Volume 2 : 19). Il s'agissait pour nous de rendre compte de la suite du travail engagé en 2014 sur l'appropriation sociale des MOOC en France, non plus seulement sous l'angle des représentations sociales des professionnels de l'enseignement en ligne (Trestini et Rossini, 2015a) développées au § 6.1.2, mais aussi sous l'angle des représentations des inscrits aux MOOC (Chevry, Rossini, et Trestini, 2015). A vrai dire, notre intention était de connaître l'avis de toutes les catégories d'acteurs (et non plus seulement ceux des professionnels) sur l'aide qu'ils avaient apportée ou qui leur avait été apportée. Nous voulions par ce moyen être en possession d'un éventail assez large de témoignages pour étudier la manière dont ces acteurs avaient perçu et vécu l'accompagnement proposé. Nous l'avons fait à l'aide d'un deuxième questionnaire en ligne (Cf. Annexe 6) mais aussi avec l'intention d'interroger des répondants particuliers (des parangons) que nous allons choisir en fonction de leurs réponses au questionnaire.

Du fait du nombre important d'inscrits qu'ils autorisent et de la variété du public, l'étude du comportement des acteurs sollicitant de l'aide et des dispositifs en présence pour répondre à ce besoin est très vite devenue un véritable casse-tête. Outre ce premier constat, la variété des stratégies mises en œuvre (d'un MOOC à un autre pour aider les inscrits) ajoutait de la complexité au problème.

La diversité et la multiplicité des variables en jeu ne pouvaient plus être étudiées et traitées à l'aide des techniques et modèles traditionnels d'analyse. Il nous fallait donc utiliser de nouveaux moyens qui devaient permettre d'observer le jeu simultané de toutes les variables participant aux activités d'aide et d'accompagnement proposés aux inscrits. Il a fallu faire des choix et décider des variables qui nous semblaient importantes (variables actives) pour évaluer quelque chose de « raisonnable » sans prétendre à la « justesse » analytique qui fournit des résultats très justes mais complètement décontextualisés car non en lien avec l'environnement. Le recours à la modélisation des systèmes complexes et aux techniques d'analyse exploratoire des données (Tukey, 1977) adossée à une statistique descriptive par « classe » (ou cluster) (Cabassut et Villette, 2012) nous semblait être un bon choix.

Au-delà de ces aspects méthodologiques, le projet devait permettre *in fine* de mieux connaître, dans cette diversité, les spécificités et les généricités des difficultés et besoins d'aide exprimés par les inscrits. La modélisation du dispositif d'aide et d'accompagnement situé au cœur du MOOC a en outre facilité la détermination de variables actives (ou variables clivantes) et à rapprocher d'elles des variables illustratives d'une population hétérogène, aux origines diverses, aux motivations différentes, impliquées en outre dans des MOOC différents (Cf. Annexe 6). Une fois cette réalité transcrite, l'analyse des phénomènes perçus initialement comme complexes est devenue plus simple à réaliser. Les résultats obtenus ont ensuite été ramenés à leur contexte d'origine. Il en ressort des profils particuliers d'inscrits fréquentant ces environnements numériques (des parangons) qui sont, chacun à leur manière, représentatifs d'une population ayant des traits communs dans la façon de vivre l'aide apportée et d'en percevoir son efficacité.

La forte hétérogénéité entre les trois classes formées à l'aide de l'analyse multivariée en classes (clusters) est certainement le résultat dominant de cette analyse exploratoire des données. L'approche systémique ainsi conduite, accompagnée d'une analyse factorielle des correspondances multiples, nous a permis d'appréhender et de traiter plus facilement cette grande variété de publics en procédant à des regroupements d'apprenants, selon leur pratiques, leurs attentes, leurs difficultés, leurs motivations…, autrement dit en créant des profils d'inscrits homogènes (des classes) à partir de ce qu'ils ont fait ou de ce qu'ils ont dit. Il en est ressorti trois profils principaux de participants ainsi que des généricités (indépendantes des types de MOOC : complexité, hétérogénéité, traversé par les dimensions pédagogiques, didactiques et techniques) et des spécificités (liées à certains d'entre eux) quant aux dépendances avec certains types de difficultés et besoins d'aide exprimés par les inscrits

Cette analyse nous a aussi permis de mieux connaître les relations que ces publics entretiennent avec les MOOC : chaque classe est en effet traversée par une grande variété de variables biographiques qui permettent de qualifier et décrire ces relations. De son côté, une analyse bivariée nous a permis de confirmer nos observations et de conjecturer des liens de dépendances entre les variables. Ces dépendances seront à confirmer ultérieurement, soit par une analyse statistique plus fine portant par exemple sur un échantillon représentatif (statistique confirmatoire), soit en conduisant des entretiens auprès de parangons pour essayer d'expliquer ces relations de dépendances posées comme hypothèse. C'est précisément le travail que nous comptons mener à présent : peaufiner le modèle et poursuivre l'analyse à travers des entretiens avec les parangons.

Pour les détails de cette expérimentation que nous souhaitons poursuivre et approfondir, nous renvoyons le lecteur à l'article en construction soumis à un numéro spécial de DMS (Cf. Volume 2, 22).

Conclusion

Nous avons voulu montrer dans cette note de synthèse le cheminement réflexif qui nous a conduit à mener une recherche sur les ENA de dernière génération (OCW, MOOC, RSN,…). Les techniques de modélisation systémique de la complexité y ont été à l'évidence privilégiées. Rappelons que « la systémique se définit comme la science qui se donne pour objet la conception et l'analyse de modèles de phénomènes complexes (Lecas, 2006, 39 de paragraphe). La modélisation s'appuie sur une représentation qui permet une compréhension à la fois individuelle et commune de l'objet étudié ; nous avons bien conscience que la connaissance de cet objet ne pourra jamais décrire totalement une quelconque réalité. Nous avons cependant reconnu dans la modélisation systémique de la complexité un moyen efficace d'appréhender la complexité des ENA mais également un moyen privilégié de découvrir certains phénomènes émergents. Nous espérons pouvoir tirer de ces techniques quelques éléments de prospective très attendus de nos politiques publiques[200] en quête d'indicateurs sur l'évolution de ces dispositifs innovants. Mais ne nous y trompons pas ; il ne s'agit pas de vouloir réduire l'incertitude pour maîtriser la complexité. Il s'agit plutôt de chercher ainsi à la gérer, à en découvrir ses effets et apprendre à les anticiper. « Traiter de situations complexes relève du partage de connaissances, de processus d'apprentissage et d'explorations qui ouvrent de nouveaux espaces à l'action, en modifiant à la fois la dimension cognitive (la compréhension de la situation) et la dimension pratique (les actions menées) : la situation change parce que nous changeons avec elle[201] » (Hubert, Aubertin, et Billaud, 2015, p. 96). Le constructivisme est le terreau de la modélisation systémique (Lecas, 2006, 44 de paragraphe) ; celle-ci est donc avant tout une construction de la réalité à travers un processus d'adaptation dynamique et de fait, la notion de constructivisme s'oppose à l'empirisme et au positivisme. Rappelons que pour les constructivistes, « la connaissance est construite par le modélisateur qui en a le projet, dans ses interactions permanentes avec les phénomènes qu'il perçoit et qu'il conçoit. Ce processus de construction de connaissance active est au cœur du processus de modélisation des phénomènes ou des systèmes perçus complexes » (Le Moigne, 1989, p.23).

Modéliser un ENA de dernière génération considéré comme un système complexe « reviendrait donc à "aller au bout" des approches dites "systèmes" en distinguant[202] une posture "ontologique" (les systèmes sont dans le monde et il suffit de savoir les voir afin de prendre en compte la complexité qu'on accorde au monde) et une posture "épistémologique" (un outillage heuristique qui consiste à décider de voir le monde comme faisant système, nous-mêmes compris) » (Hubert *et al.*, 2015, p. 96).

Mais l'important est avant tout de ne voir « aucune différence de valeur entre la science avec modèle et la science sans modèle ; les deux seules différences de valeur connues en matière de travail scientifique sont, entre les aspects du réel, celle du décisif et de l'accessoire et, entre les idées, celle du profond et de superficiel » (Regnier, 1968, p. 316).

---

[200] Parmi les nombreuses définitions de politique publique nous retiendrons celle-ci : « Une politique publique est ce que les gouvernements choisissent de faire ou de ne pas faire » (Source : https://fr.scribd.com/doc/46489659/Politiques-publiques-Definition-et-objet)

[201] Hatchuel, A., Weil, B., 2009. C-K design theory: an advanced formulation, Research in Engineering Design, 19(4), 181-192.

[202] Sans les opposer car elles peuvent se combiner si elles sont assumées comme telles, formant là aussi une dualité ainsi que lepropose Ray Ison (Ison, R., 2010. Systems practice: how to act in a climate-change world, Springer).

Références bibliographiques

Abric, J.-C. (1994). Les représentations sociales : aspects théoriques. Dans J.-C. Abric (dir.), Pratiques sociales et représentations (p. 11-35). Paris : Presses universitaires de France.

Akrich, M., Callon, M., Latour, B. (2006). *Sociologie de la traduction*. Textes fondateurs. Paris, Presses des Mines de Paris.

Amigues, R. (2003). Enseignement-apprentissage. In R. Amigues (Ed.), Petit vocabulaire raisonné à l'usage des professeurs débutants accédé le 23 octobre 2005 à http://recherche.aix-mrs.iufm.fr/publ/voc/n1/amigues1/index.html

Ancori B. (1992). Mémoire et apprentissage : de la neurobiologie à l'auto-organisation. Dans B. Ancori (dir.), *Apprendre, se souvenir, décider. Une nouvelle rationalité de l'organisation* (p. 51-104). Paris : CNRS Editions.

Ancori, B. (2005). Analogie, évolution scientifique et réseaux complexes. *Nouvelles perspectives en sciences sociales, 1*(1), p. 9-61. Paris : Prise de parole.

Aniorté, P., Cariou, E. et Gouardères, E. (2006, mars). *Modélisation de systèmes complexes distribués : l'ingénierie des modèles pour l'intégration des paradigmes « agent » et « composant »*. Communication présentée à la Journée Multi-Agent et Composant (JMAC 2006), Nîmes, France. Récupéré du site : http://csl.ensm-douai.fr/MAAC/uploads/anioriteJMAC2006.pdf

Artigue, M. (1990). Analyse de processus d'enseignement en environnement informatique. *Petit x, 26*, 5-27. Récupéré de : http://www-irem.ujf-grenoble.fr/revues/revue_x/fic/26/26x1.pdf

Astolfi, J.-P. (2001). Piaget et Vygotsky : deux approches différentes du développement et de l'apprentissage. Dans *Eduquer et former : Les connaissances et débats en éducation et en formation*. Auxerre, France : Sciences humaines.

Atlan, H. (1979). Entre *le cristal et la fumée. Essai sur l'organisation du vivant.* Paris : Editions du Seuil.

Atlan, H. (1999). *La fin du « tout génétique » ? Vers de nouveaux paradigmes en biologie* : une conférence-débat organisée par le groupe Sciences en questions, Paris, INRA, 28 mai 1998. Paris, 1999 : INRA Editions.

Augusto, V. (2013). Modélisation de systèmes complexes. Présentation de cours à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne. Récupérée du site de l'école : http://www.emse.fr/~augusto/enseignement/icm/gis1/UP2-1-Modelisation_Systemes_Complexes-handout.pdf ».

Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. PRESENCE : Teleoperators and Virtual Environments, 6 (4), 355-385.

Bak, P. (1996). *How Nature Works -The science of self-organized criticality*. New York: Springer Verlag.

Baker, M. (2000). "The roles of models in Artificial Intelligence and Education Reasearch: A prospective view", *International journal of Artificial Intelligence in Education, 11*, 122-143.

Barbier, R. (2004). Flash existentiel et reliance. *Le Journal des Chercheurs*. Récupéré du site : http://www.barbier-rd.nom.fr/journal/article.php3?id_article=148

Baron M. (1994). EIAO, quelques repères. *Terminal, technologie de l'information, culture et société, 65*. Récupéré le 17 mai 2016 du site : http://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000297/fr/

Baron, G.-L. et Bruillard, E. (2004). Quelques réflexions autour des phénomènes de scolarisation des technologies. In Pochon Luc Olivier et Maréchal Anne, Entre technique et pédagogie. La création de contenus multimédia pour l'enseignement et la formation, IRDP, Neuchâtel, 2004, p. 154-161.

Baron, G.-L. (2011). Learning design. *Recherche et formation*, 68, 109-111. Récupéré le 12 janvier 2015 de http://rechercheformation.revues.org/1565

Basque, J. (2004). En quoi les TIC changent-elles les pratiques d'ingénierie pédagogique du professeur d'université ? *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire, 1*(3), 7-13. Récupéré le 25 mars 2016 du site de la revue : http://www.ritpu.org/IMG/pdf/basque.pdf

Basque, J. et Dore, S. (1998). Le concept d'environnement d'apprentissage informatisé. *Journal of Distance Education, Revue de l'Éducation à Distance, 13*(1), 40-56. Récupéré le 5 mai 2015 du site de la revue : http://www.ijede.ca/index.php/jde/article/view/136/426.

Bataille, M. (2000). Représentation, implicitation, implication; des représentations sociales aux représentations professionnelles. Dans C. Garnier et M. L. Rouquette (dir.), Les représentations en éducation et formation (p. 165-189). Montréal, Canada : Éditions Nouvelles.

Bateson, G. (1977). Vers une écologie de l'esprit, vol.1, Ed. du Seuil-Essais-Points.

Beauné, A. (2010, 10 octobre). Théorie de l'Activité : applications au domaine des TICE [billet de blogue]. Récupéré du site Adjectif. Récupéré de : http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article77

Béguin, P. et Cerf, M. (2004). Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception des systèmes de travail. *@ctivités* [En ligne], 1-1 | avril 2004, mis en ligne le 02 avril 2004, consulté le 10 septembre 2016. Récupéré de : http://activites.revues.org/1156 ; DOI : 10.4000/activites.1156

Béguin, P. & Rabardel, P. (2001, p.2). Concevoir pour les activités instrumentées Récupéré du site : http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.2482&rep=rep1&type=pdf

Behaz, A., Djoudi, M. (2009, mai). Approche de modélisation d'un apprenant à base d'ontologie pour un hypermédia adaptatif pédagogique. Dans A. Amine, O. Ait Mohamed et Z. Elberichi, *Proceedings of the 2nd Conférence Internationale sur l'informatique et ses Applications (CIIA'09)*. Saida, Algeria. Récupéré du site : http://ceur-ws.org/Vol-547/130.pdf

Béguin, S. (2013, 10 janvier). Quelle différence entre complexe et compliqué ? [Commentaire dans un blogue]. Récupéré du blogue Simplixi : http://www.simplixi.fr/difference-complexe-et-complique/

Bejaoui, R., Paquette, G., Basque, J. et Henri, F. (2015). Comment personnaliser l'apprentissage dans un cours en ligne ouvert et massif (CLOM) (MOOC) ? Dans *actes du colloque Cirt@ 201*, Université de Sherbrooke, 13 octobre 2015. Récupéré le 18 août 2015 du site : http://r-libre.teluq.ca/739/1/Bejaoui,%20Paquette,%20Basque%20et%20Henri.%20Comment%20personnaliser%20l'apprentissage%20dans%20un%20CLOM.pdf

Bellemain F., et Capponi B., (1992), Spécialité de l'organisation d'une séquence d'enseignement lors de l'utilisation de l'ordinateur. *Educational Studies in Mathematics*, *23*(1), 59-97.

Belisle, C., Linard, M. (1996). Quelles nouvelles compétences des acteurs de la formation dans le contexte des TIC ?, *Education Permanente*, *127*, 19-48.

Benayed, M., Trestini, M. et Verreman, A. (2006). Collaboration entre professeurs des écoles : intégration des TIC lors du stage en responsabilité, Chapitre 8. In BARON, G.-L.et BRUILLARD, E. dir. Technologies de communication et formation d'enseignants : vers de nouvelles modalités de professionnalisation ? Lyon : INRP, p.167-177. ISBN 2-7342-1023-1 http://www.inrp.fr/publications/catalogue/web/Notice.php?not_id=BR+053

Berthon, J.-F. (2000, décembre). *La recherche-action : Mode et méthode spécifique de la recherche en sciences humaines ; sa pertinence dans le domaine de la formation et de l'éducation*. Note d'éclaircissement. Récupéré le 20 février du site : http://1libertaire.free.fr/Recherche-Action02.html

Bissonnette, S. et Gauthier, C. (2012). Faire la classe à l'endroit ou à l'envers? Formation et profession, 20(1), 23-28. Récupéré du site de la revue. Doi :10.18162/fp.2012.173

Bjørklia, C.A., Røedb, B.K., Bjellandb, H.V., Gouldc, K.S. et Hoffd, T. (2007). La théorie de l'activité comme aide à la conception d'équipement de navigation. *@ctivités 4*(1), 170-178. Récupéré du site : http://activites.revues.org/1471

Blanco, Á. F., García-Peñalvo, F. J. et Sein-Echaluce, M. (2013). A methodology proposal for developing adaptive cMOOC. Dans *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality* (p. 553–558). ACM.

Blitman, S. (2014, 26 novembre). Marcel Lebrun : « L'écart entre collaboration et aliénation numérique est étroit ». *EducPros.fr*. Récupéré le 16 février du site : http://www.letudiant.fr/educpros/entretiens/marcel-lebrun-l-ecart-entre-collaboration-et-alienation-numerique-est-etroit.html

Boelaert, J. et Khaneboubi, M., (2015). Une méthode de visualisation de traces d'activités sur la plateforme open edX : le cas du Mooc « Enseigner et former avec le numérique. *Adjectif* [En ligne]. Mis en ligne le Vendredi 19 juin 2015. Récupéré du site de la revue : http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article350

Bogdanov , A. (1921, 1981). « Essays in Tektology : The géneral Science of Organisation» de la traduction anglaise par G. Gorelik, Inter system Publications, Seaside, Cal. (1981).

L'original en russe et en allemand parut en 1921, mais fut quasi censuré sous l'ère stalinienne en Russie.

Bogdanov , A. (1921). Traduction de l'édition en anglais publiée sous le titre « *Essays in Tektology : The géneral Science of Organisation, par Georges* Gorelik.

Boulding, K.E. (1967). *General system theory, the skeleton of science*, 1956, in P.P. Schoderbek (1967), 7-15.

Boulding, K.E. (2004). General systems theory, the skeleton of science, *E:CO Special Double Issue, 6*(1-2), 127-139. Récupéré du site du site : http://emergentpublications.com/eco/eco_other/issue_6_1-2_18_cp.pdf?AspxAutoDetectCookieSupport=1

Bourguin, G. (2000). Un support informatique à l'activité coopérative fondé sur la théorie de l'activité : le sujet DARE (thèse de doctorat).Université de Lille, France. Récupéré de : http://www-lisic.univ-littoral.fr/publis/1394700486.pdf

Bourgine, P. (2004, février). Vers une science des systèmes complexes. Communication présentée au Colloque de prospective, Paris. Récupéré du site http://cnsc.unistra.fr/uploads/media/CompteRenduCollque1.pdf

Brousseau, G. (1986) : *La théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques* (thèse d'Etat), Université de Bordeaux, France.

Bruillard, E. (2004). Apprentissage coopératif à distance : quelques repères sur les questions de recherche. Dans *Enseignement à distance : épistémologie et usages* (p.115-135). Paris, France : Hermès-Lavoisier. Récupéré de : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00256063

Bruillard, E. et Baron, G.-L. (2006). « Usages en milieu scolaire : caractérisation, observation et évaluation ». Dans M. Grandbastien et J.-M. Labat (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*. Paris : Hermès et Lavoisier, p. 269-284.

Burgos, D., Arnaud, M., Neuhauser, P. et Koper, R. (2005). IMS Learning Design : la flexibilité pédagogique au service des besoins de la e-formation. *EpiNet – La revue électronique de l'EPI*. Récupéré du site de EPI : https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a0512c.htm

Cabassut, R. et Villette, J.-P. (2012). Un exemple d'analyse des croyances des enseignants envers l'enseignement de la modélisation. Dans J.-L. Dorier , S. Coutat (Eds.), *Enseignement des mathématiques et contrat social : enjeux et défis pour le 21ème siècle. Actes du colloque EMF 2012* (p. 668–677). Genève, Suisse. ISBN 978-2-8399-1115-3.

Çaçi, M. (2000). *Réseau Centre : une nouvelle stratégie de mise en réseau, par le développement des filières* (mémoire de diplôme, Université de Lausanne, Suisse). Récupéré de : http://www.chuv.ch/bdfm/cdsp/MemoireCaci.pdf

Chalmel, L., Chevry, E., Frisch, M., Gossin, P., Kennel, S., Paivandi, S., Trestini, M. et Weisser, M. (2016). Articulation et complémentarité des équipes pédagogiques et des services de documentation au cœur de la rénovation pédagogique (Rapport de recherche pour la MIPES-DGESIP). Strasbourg, France, LISEC.

Class, B. (2001). Introduction de l'innovation technologique dans l'éducation. *Technologies Internet et Education, © TECFA*, accédé le 25 octobre 2005 à http://tecfa.unige.ch/guides/tie/html/innovation/innovation.html.

Cisel, M. (2016, 24 février). Les MOOC au sein de l'entreprise : avis aux DRH. Dans La révolution MOOC [billet de blogue]. Récupéré le 12 avril 2016 du blogue de l'auteur : http://blog.educpros.fr/matthieu-cisel/

Cisel, M. et Bruillard, E. (2012). Chronique des MOOC, *Rubrique de la Revue STICEF*, *19*,1-16. Mis en ligne le 16 janvier 2013. Récupéré du site de la revue le 18 janvier 2016 : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2012/13r-cisel/sticef_2012_cisel_13rp.pdf

Contamines, J., George, S., & Hotte, R. (2003). "Approche instrumentale des banques de ressources éducatives". *Revue Sciences et Techniques Éducatives* (STE) numéro spécial « Ressources numériques, XML et éducation », 10. Consulté à l'adresse http://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00298189/

Cambien, A. (2007). *Une introduction à l'approche systémique : Appréhender la complexité*. (Rapport d'étude). Lyon, France : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques CERTU. Récupéré de : http://lara.inist.fr/bitstream/handle/2332/1431/CERTU-RE_08-09.pdf?sequence=1

Camus A. (1944). Sur une philosophie de l'expression. Poésies 44. *Œuvres complètes*, tome I, La Pléiade, p.908.

Charlier, B., Deschryver, N. et Peraya, D. (2006). Apprendre en présence et à distance : une définition des dispositifs hybrides. *Distances et savoirs*, *4*(4), 469-496. Accédé le 26 décembre 2015 sur le site : http://archive-ouverte.unige.ch/unige:17649

Chekour, M., Laafou, M., Rachid et Janati-Idrissi (2015). *L'évolution des théories de l'apprentissage à l'ère du numérique*. EpiNet n°171, janvier 2015. Accédé le 26 décembre 2015 sur les archives d'EpiNet : http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1502b.htm

Cherqui-Houot, I., Trestini, M. et Schneewele, M. (2010). Les usages d'un cahier de texte en ligne : Cas de l'ENT Lorrain, l'environnement PLACE. *Distances et Savoirs*, 8(2), 241-256. ISBN : 978-2-7462-3176-4.

Chevry, E., Rossini, I. & Trestini, M. (2015). La notion d'aide en contexte numérique : le rôle des acteurs impliqués. Dans *Actes de l'atelier de la conférence internationale EIAH 2015. Agadir, Maroc, 2 juin 2015*.http://atelier-aide.sciencesconf.org/conference/atelier-aide/pages/actes_atelier_aide_EIAH2015.pdf

Clark, R. E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review Educational Research*, *53* (4), 445-459. DOI : 10.3102/00346543053004445

Clark, R. E., Craig, T. G. (1991). Research and Theory on Multi-Media Learning Effects. *In* M. Giardina (Ed.), *Interactive Multimedia Learning Environments*. Berlin : Springer-Verlag, 19-30.

Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, *42* (2), 21-29. DOI : 10.1007/BF02299088

Clark, R. E. (2009). A la recherche des ingrédients actifs de l'apprentissage. Les effets des dispositifs d'enseignement à distance. *Distances et Savoirs*, *7* (1), 114.

Contamines, J., George, S., Hotte, R. (2003). Approche instrumentale des banques de ressources éducatives [numéro spécial]. *Sciences et Techniques Educatives*, *10*, hors-série, 157-178. Récupéré de hal-00298189 : https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00298189/document

Crahay, M. (2001). Psychologie de l'éducation : les fondements de l'apprentissage. In *Eduquer et Former*. Auxerre, France : Sciences Humaines.

Cristol, D. (2012, 6 décembre). Le connectivisme : une théorie socio-informatique de l'apprentissage [billet de blogue]. Récupéré le 12 janvier 2016 du blogue de l'auteur : http://4cristol.over-blog.com/article-le-connectivisme-une-theorie-socio-informatique-de-l-apprentissage-113809666.html

Dambreville, S. C. (2008). Evaluer un dispositif de formation à distance: Principes et retour d'expérience. *Revue des Interactions Humaines Médiatisées*, 9(2), 25-52.

Delannoy, C. (2000). Un cercle vertueux « affectif – cognitif ? *Les cahiers pédagogiques, 381*, février.

Demaizière, F. (2008). Le dispositif, un incontournable du moment, Alsic, 11(2), 157-161. Récupéré du site de la revue : http://alsic.revues.org/384

Dennery, M. (2013, 30 juillet). Macro, méso et micro pédagogie: clarifions les définitions [billet de blogue]. Récupéré le 30 juin 2016 du blogue c-campus : http://www.blog-formation-entreprise.fr/?p=2643

Desmoulins C. et Grandbastien, M. (2006). Une ingénierie des EIAH fondée sur des ontologies. Dans M. Granbastien et J.-M. Labat (dir.), *Environnements informatique pour l'apprentissage humain* (p. 160-180). Paris, France : Hermes Lavoisier.

Depover, C. (2001, septembre). Réinventer la pédagogie, les nouveaux paradigmes éducatifs. *Actes du colloque Initiatives 2001, « Ethique et nouvelles technologies ». L'appropriation des savoirs en question*. Beyrouth, Liban. Récupéré du site http://www.initiatives.refer.org/Initiatives-2001/_notes/sess501.htm

Depover, C., Karsenti,T. et Komis, V. (2009). *Enseigner avec les technologies. : favoriser les apprentissages, développer les compétences*. Québec : Les presses de l'université du Québec.

Depover, C., & Marchand, L. (2002). E-Learning et formation des adultes en contexte professionnel. Bruxelles : De Boeck & Larcier.

De Lannoy, J.-D. et Feyereisen, P. (1999). *Qu'est-ce-donc qu'apprendre* ?, Delachaux et Niestlé S.A, Lausane (Switzerland) Paris 1999.

Demaizière F. (2008). Le dispositif, un incontournable du moment, Alsi, vol. 11, n°2, 157-161. Récupéré du site : http://alsic.revues.org/384

Desrosiers, C. (2013). *Analyse de pratiques pédagogiques d'enseignantes et d'enseignants du réseau collégial recourant à des environnements numériques d'apprentissage en enseignement hybride et propositions de stratégies optimales d'utilisation* (Essai présenté à la Faculté d'éducation en vue de l'obtention du grade de Maître en enseignement. Maîtrise en enseignement au collégial, Université Sherbrooke, Canada). Récupéré du site : https://cdc.qc.ca/universite/sherbrooke/032014-desrosiers-ENA-enseignement-hybride-essai-usherbrooke-2013.pdf

Dessus, P., Lemaire, B. (1999). La technologie des médias joue-t-elle un rôle dans la transmission des connaissances ? In S. Agostinelli (Ed.). *Comment penser la communication des connaissances ? Du CD-ROM à l'Internet*. Paris : L'Harmattan, 253-264. Récupéré de http://webcom.upmf-grenoble.fr/sciedu/pdessus/media99.PDF

Dessus P. (2006). Quelles idées sur l'enseignement nous révèlent les modèles *d'Instructional Design* ? *Revue suisse des sciences de l'éducation*, *28*(1), 137-157. Récupéré du site : http://tecfaetu.unige.ch/etu-maltt/volt/venni6/bases/carte1/SZBW_6.1_Dessus.pdf

Dessus, P.et Marquet, P. (2009). « Éditorial », *Distances et savoirs*, *1*(7), 7-10.

Devauchelle, B., (2012). Y a-t-il de nouvelles pédagogies avec les TIC ? Accédé le 24 octobre 2012 à http://www.brunodevauchelle.com/blog/?page_id=493

Develotte, C. & Mangenot, F. (2010). Feed-back correctifs dans des formations de tuteurs de langue en ligne (en synchrone et en asynchrone). Dans *actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Université de Genève, septembre 2010. Récupéré le 18 août 2015 du site https://plone.unige.ch/aref2010/symposiums-courts/coordinateurs-en-e/professionnalite-des-enseignants-se-former-dans-les-environnements-numeriques-d2019apprentissage/Feed-back%20correctifs.pdf

Dir, M. et Simonian, S. (2016). Analyse de l'activité tutorale dans un organisme privé de formation à distance selon le modèle d'Engeström : tensions et écarts au prescrit. *Distances et médiations des savoirs 11*(2016). Récupéré de : http://dms.revues.org/1109 ; DOI : 10.4000/dms.1109

Doise, W. (1986). Les représentations sociales : définition d'un concept. Dans W. Doise et A. Palmonari (dir.), L'étude des représentations sociales (p. 81-94). Lausanne, Suisse : Delachaux et Niestlé.

Doise, W., & Mugny, G. (1981). Le développement social de l'intelligence. InterEditions.

Doise, W., & Mugny, G. (1997). Psychologie sociale et développement cognitif. Paris : Armand Colin.

Domingues (2010). *Interaction 3D Collaborative en Réalité Virtuelle* (mémoire pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université d'Evry, Val d'Essonne,France)., Récupéré de l'archives-ouvertes HAL : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00542170/document

Donnadieu, G. & Karsky, M. (2002). *La systémique, penser et agir dans la complexité*. Paris : Editions de liaisons.

Donnadieu, G., Durand, D., Neel, D. Nunez, E. et Saint-Paul, L. (2003). *L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ?* (Synthèse des travaux du Groupe AFSCET « Diffusion de la pensée systémique »). Récupéré du site : http://www.afscet.asso.fr/SystemicApproach.pdf

Dufour, H. (2014, septembre-octobre). La classe inversée. Technologie. Récupéré de : https://www.acparis.fr/portail/jcms/p2_1014285/la-classe-inversee

Endrizzi Laure (2012). Les technologies numériques dans l'enseignement supérieur, entre défis et opportunités. Dossier d'actualité *Veille et Analyses*, n°78, octobre. Récupéré le 16 février 2004 du site http://ife.ens-lyon.fr/vst/DA/detailsDossier.php?parent=accueil&dossier=78&lang=fr

Engeström, Y. (1987). *Learning by Expanding: An Activity-theoretical Approach to Developmental Research*. Helsinki: Orienta-Konsultit Oy.

Engeström Y. (2000), « Activity theory as a framework for analysing and redesigning work », *Ergonomics*, *43*(7), 960-974.

Engeström, Y. (2005), *Developmental work research: expanding activity theory into practice. Berlin* : Behmanns Media.

Fabre, I. 2013, June 25. L'espace documentaire comme lieu de médiations. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00837950/document.

Ferraris, C., Lejeune, A., Vignollet, L., David, J.-P. (2005). Modélisation de scénarios pédagogiques collaboratifs. 2005. Récupéré d'archives ouvertes (HAL) : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00005687/document

Fleurance, P., (2013). Une conversation réflexive avec les « data » : en améliorer la visualisation graphique pour mieux les comprendre ? Editorial de l'*Interlettre Chemin Faisant Réseau Intelligence de la Complexité* - MCX-APC, n°64 janvier-février 2013. http://www.intelligence-complexite.org/fileadmin/docs/il64.pdf

Flichy, P. (2003). L'innovation technique : Récents développements en sciences sociales. Vers une nouvelle théorie de l'innovation. Paris, France : La découverte.

Fortin, R. (2005). *Comprendre la complexité. Introduction à la Méthode d'Edgar Morin*. Québec : Les presses de l'Université Laval.

Gagné, R. (1968). Learning categories and instructional strategies. In *La recherche en enseignement programmé : tendances actuelles*, Actes d'un colloque OTAN, Paris : Dunod, p. 155-170.

Ganassali, S. (2014). *Enquêtes et analyse de données avec Sphinx*. Montreuil : Pearson.

Gilly, M. (1995). Approches socio-constructives du développement cognitif, dans Gaonach (G.), Golder (C.), *Manuel de psychologie pour l'enseignement*, Paris, Hachette, p. 130-167.

Giordan, A. (2001). (Re)construire les connaissances. Dans *Eduquer et former : Les connaissances et débats en éducation et en formation*. Ruano-Borbalan (dir.), Editions Sciences humaines p. 95-101.

Gleick, J., (1987). Chaos: *The Making of a New Science*. New York, NY, Penguin Books.

Goguel, J. (2016). Modèle. Les modèles dans la science de la Terre. Dans R. Boudon, H. Damisch, J. Goguel, S. Guinand, B. Jaulin, N. Mouloud, J.-F. Richard et B. Victorri, *Les grands articles*. Paris, France : Encyclopaedia Universalis. Récupéré du site http://www.universalis.fr/encyclopedie/modele/

Gonzalez, C., (2004). Le rôle de l'apprentissage mixte dans le monde de la technologie. Récupérée le 12 Janvier 2016, de : http://www.unt.edu/benchmarks/archives/2004/september04/eis.htm

Good, T. et Brophy, J. (1995). Educational Psychology: A Realistic Approach, 4e éd., New York: Longman.

Grandbastien, M., Oubahssi L, Claës G., (2003). A process oriented approach for modelling on line Learning Environments. Dans *Intelligent Management Systems, AIED 2003 supplemental proceedings*, vol.4, p. 140-152., university of Sydney.

Guité, F. (2004, 15 décembre). Le connectivisme (néo socioconstructivisme. Récupéré le 17 janvier 2016 du blog de l'auteur : http://www.francoisguite.com/2004/12/le-connectivisme-neo-socioconstructivisme/

Harvey, P.-L. et Lemire, G. (2001). *La nouvelle éducation : NTIC, Transdisciplinarité et Communautique*. Québec, Canada : Les presses de l'Université Laval.

Harvey, S. et Loiselle, J. (2009). Proposition d'un modèle de recherche développement. *Recherches qualitatives, 28*(2), 95-117. Récupéré du site : http://www.recherche-qualitative.qc.ca/documents/files/revue/edition_reguliere/numero28(2)/harvey(28)2.pdf

Henning, P. A., Heberle, F., Streicher, A., Zielinski, A., Swertz, C., Bock, J. et Zander, S. (2014). Personalized Web Learning: Merging Open Educational Resources into Adaptive Courses for Higher Education. *Personalization Approaches in Learning Environments*, 55-62.

Henri, F., Lundgren-Cayrol, K. (2001). *Apprentissage collaboratif à distance Pour comprendre et concevoir les environnements d'apprentissage virtuels.* Ed. Presses de l'Université du Québec.

Henri, F., Compte, C. et Charlier, B. (2007). La scénarisation pédagogique dans tous ses débats… *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire, 4*(2), 14-24. Récupéré du site de la revue : http://www.ritpu.org/IMG/pdf/ritpu0402_henri.pdf

Houssaye, J. (1988). *Le triangle pédagogique*. Berne : Peter Lang.

Hubert, B., Aubertin, C., et Billaud, J.-P. (2015). Natures Science Sociétés, 23, 95-96. Récupéré de http://www.nss-journal.org/articles/nss/pdf/2015/03/nss150032.pdf

Jacquinot, G. (1993). « Apprivoiser la distance et supprimer l'absence ? ou les défis de la formation à distance », *Revue Française de Pédagogie*, n°102, janvier-février-mars 1993, 55-67.

Jacob, L. (2015). *L'adhésion des étudiants au dispositif de classe inversée change-telle en fonction de leur style d'apprentissage ?* (Mémoire de master 2 non publié). Université de Strasbourg, France.

Jermann, P. (1966). *Conception et analyse d'une interface semi-structurée dédiée à la co-résolution de problème (m*émoire de DES, Université de Genève, Suisse). Récupéré le 11 septembre 2016 sur le site : http://vcampus.uom.ac.mu/orizons/html/res270704/CSCL-CSCW/CoRes.unige/~jermann/staf/colin-1.html

Jenni, J. C. (2009). *Objets d'apprentissage, ressources pédagogiques : le point de vue d'enseignants universitaires sur les pratiques de mutualisation et d'échanges : Une analyse exploratoire des conceptions d'enseignants du supérieur* (mémoire de Master, Université de Genève (TECFA), Suisse).

Jonassen, D. H. (1991). *Handbook of research for educational communications and the technology*. New York: Simon & Schuster Macmillan.

Jonassen, D. H. (2000). Revisiting activity theory as a framework for designing student-centered learning environments. Dans D.H. Jonassen, & S.M. Land (Éds), *Theorietical foundations of learning environments* (pp. 81-121). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum.

Jonassen, D. (2002). *ITForum Paper #1 Technology as Cognitive Tools: Learners as Designers.*

Kadio, J., Prevost, L., Remmer, M. (2016). Jouons à apprendre à connaître les solides à l'aide de la Réalité Augmentée, Projet d'apprentissage de notions géométriques ponctué d'activités relevant de la réalité augmentée, Travail de recherche produit dans le cadre de l'UE 34 « Maîtrise et usages du e-Leraning pour la formation » du Master CFT, Université de Strasbourg.

Karsenti, T., & Larose, F. (2001). *Les TIC… au cœur des pédagogies universitaires*. Québec : Presses de l'Université du Québec.

Koper, R. (2001). *Modeling units of study from a pedagogical perspective – The pedagogical metamodel behind EML*. Open University of the Netherlands : Récupéré le 2 juillet 2016 du site : http://dspace.ou.nl/bitstream/1820/36/1/Pedagogical%20metamodel%20behind%20EMLv2.pdf

Koper, R., (2003). Combining re-usable learning, resources and services to pedagogical purposeful units of learning. In *A. Littlejohn (Ed.), Reusing Online Resources: A Sustainable Approach to eLearning* (pp. 46-59). London: Kogan Page.

Kozanitis, A. (2005). Les principaux courants théoriques de l'enseignement et de l'apprentissage : un point de vue historique. Bureau d'appui pédagogique, Ecole polytechnique de Montréal - Le génie de première classe, septembre 2005. Récupéré le 27 décembre du site :http://www.polymtl.ca/bap/docs/documents/historique_approche_enseignement.pdf

Kozma, R. B. (1991). Learning with media. *Review Educational Research*, *61*(2), 179-211. doi:10.3102/00346543061002179

Kozma, R. B. (1994). Will media influence learning? Reframing the debate. *Educational Technology Research and Development*, *42*(2), 7-19. doi: 10.1007/BF02299087

Kuutti K. (1996). Activity Theory as a Potential Framework for Human-Computer Interaction Research. In B. Nardi (edit.), *Context and consciousness: Activity theory and human computer interaction*, 17-44. Cambridge, Mass: MIT Press.

Ladiray, D. (1997). L'AED, analyse exploratoire des données. *Courrier des statistique, 83-84*, 3-6. Récupéré le 12 avril 2016 du site : http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/cs90a.pdf

Laforcade, P. (2005, mai). Approche par transformation de modèles pour la conception d'EIAH : Illustration entre les langages CPM et IMS-LD. Dans P. Tchounikine, M. Joab, L. Trouche (édit.), *actes du colloque Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH)*, Montpellier 2005 (p. 213-224). Récupéré de l'archive HAL : https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00005664/document

Laforcade, P., Nodenot, T. et Sallaberry, C. (2005). Un langage de modélisation pédagogique basé sur UML. *Revue STICEF*, Volume 12, 2005, ISSN : 1764-7223, mis en ligne le 08/11/2005. Récupéré du site : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2005/laforcade-05/sticef_2005_laforcade_05p.pdf

Laguecir, A., Colas, H. et Massue, M.-L. (2010). Des modes d'utilisation du plan d'affaires : apports de la théorie de l'activité. *Revue de l'Entrepreneuriat*, *1*(9), 50-81. Récupéré du site du Cairn : https://www.cairn.info/load_pdf.php?ID_ARTICLE=ENTRE_091_0004

Lebrun, M. (2002). *Théories et méthodes pour enseigner et apprendre : quelle place pour les TIC dans l'éducation ?* Bruxelles : De Boeck.

Lecas, G. (2006). La modélisation systémique : outils méthodologiques pour économistes. *Innovations 2*(24), p. 199-230. Récupéré du site : https://www.cairn.info/revue-innovations-2006-2-page-199.htm. DOI : 10.3917/inno.024.0199.

Lefevre, M., Broisin, J., Butoianu, V. Daubias, P., Daubigney, L. Greffier, F. Guin, N. Jean-Daubias, S. Monod-Ansaldi, R. et Terrat H. (2012). Personnalisation de l'apprentissage : comparaison des besoins et approches à travers l'étude de quelques dispositifs. STICEF, 19, pp. 353-387, Récupéré du site de la revue : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2012/06-lefevreindividualisation/sticef_2012_NS_lefevre_06.htm

Legendre, R. (1993). *Dictionnaire actuel de l'éducation*. Montréal : Guérin.

Legendre, M.-F. (2004). Approches constructivistes et nouvelles orientations curriculaires : d'un curriculum fondé sur l'approche par objectifs à un curriculum axé sur le développement de compétences. Dans P. Jonnaertp et D. Masciotra (dir.), *Constructivisme, choix contemporains : hommage à Ernst Von Glasersfeld* (p. 51-87). Sainte-Foy (Québec), Canada : Presses de l'Université du Québec.

Leif, J. et Rustin, G. (1970). *Philosophie de l'éducation : Pédagogie générale* (tome 1). Paris : Delagrave.

Lemire, G. (2008). *Modélisation et construction des mondes de connaissances : Aspects constructiviste, socioconstructiviste, cognitiviste et systémique*. Québec : Les Presses de l'Université Laval.

Le Moigne, J.-L. (1994). *La théorie du système général : Théorie de la modélisation*, collection « Les Classiques du Réseau Intelligence de la Complexité » (IC-MCX-APC). (Ouvrage original publié en 1977 pour la 1ère édition. Paris, France : PUF). Récupéré du site : http://www.mcxapc.org/inserts/ouvrages/0609tsgtm.pdf.

Le Moigne, J.-L. (1999). La modélisation des systèmes complexes. Paris : Dunod. (Ouvrage original publié en 1990 pour la 1ère édition. Paris, France : Bordas).

Leontiev, A.N. (1976). *Le développement du psychisme*, trad. Fr., Paris, Editions Sociales, 1976.

Leontiev, A.N. (1981). The problem of activity in psychology. In J.V. Wertsch (Ed.), *The concept of activity in soviet psychology*, Armonk, NY: Sharpe.

Lewis, R. (1998, octobre). Learning together: a rationale, some experiences and a framework. (Apprendre conjointement : une analyse, quelques expériences et un cadre de travail) .In J.-F. Rouet et B. de la Passardière, *Actes du 4ème colloque Hypermédias et Apprentissages*, Poitiers, 15, 16 et 17 octobre 1998. (Traduit de l'anglais par Jean-François Rouet).

Lheureux, F. (2010). Représentations professionnelles, satisfaction au travail et choix de carrière des personnels infirmiers : le rôle des valeurs d'autonomie. Psychologie du travail et des organisations (PTO), 16(4), 312-324. Récupéré de http://revue-pto.com/articles%20pdf/Decembre%202010/Vol%2016-4-2.pdf

Linard, M. (2001). « Les technologies de l'information et de la communication en éducation : un pont possible entre faire et dire », dans *Les jeunes et les médias*, Hachette.

Linard, M. (2002). « Conception de dispositifs et changement de paradigme en formation », *Les TIC au service des nouveaux dispositifs de formation*, Education permanente n°152/2002

Loiselle, J., et Harvey, S. (2007). La recherche développement en éducation : fondements, apports et limites. Recherches qualitatives, 27(1), 40-59.

Mammeri, Z. (2011). Modélisation du comportement du système en UML. Cours de M2P GLRE Génie Logiciel, logiciels Répartis et Embarqués de l'Université Paul Sabatier, Toulouse III. Récupéré le 10 octobre 2015 sur le site de L'IRIT : http://www.irit.fr/~Zoubir.Mammeri/Cours/M2PConcSTR/Chap4UML.pdf

Mandelbrot, B. (2009). *Fractales, hasard et finance*, Flammarion, coll. « Champs sciences » (réimpr. 2009) (1re éd. 1997), 246 p. (ISBN 978-2-0812-2510-7), chap. 1.3 (« Principes d'échelle, distributions scalantes, dimensions fractales, et H »).

Marquet, P. (2005). « Intérêt du concept de conflit instrumental pour la compréhension des usages des EIAH », Dans *Actes de la conférence EIAH 2005*.

Marquet, M. (2011), *e*Learning et conflit instrumental : entre didactique, pédagogie et technique, *Recherche et Formation, 68*, 31-46. Récupéré le 6 décembre 2015 du site de la revue : http://rechercheformation.revues.org/1499

Martel C., Ferraris C., Caron B., Carron T., Chabert G., Courtin C., Marty J.C. et Vignollet L. (2004). A model for CSCL allowing Tailorability: Implementation in the Electronic Schoolbag Groupware. In *Proceedings of the 10th CRIWG conference*, San Carlos, Costa Rica,, LNCS 3198.

Martin, P., Clouvel, P., Reitz, P. et Libourel, T. (2012). Modélisation d'un système complexe : Une méthode déclarative. [Research Report] 13005, LIRMM. 2012. Récupéré du site de HAL : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00706573/document .

Martineau, P. Barma, S. (2013, juillet). *Comprendre l'appropriation du iPad comme outil d'enseignement et d'apprentissage dans une école secondaire en milieu défavorisé dans le cadre du projet FAST*. Communication présentée à ISCAR C-US, Interactive symposium. Récupéré du site de Crires : http://crires.ulaval.ca/sites/crires/files/2013/2-1335-martineau.pdf

Melhuish, K. & Falloon, G. (2010). Looking to the future: M-learning with the iPad. Computers in New Zealand Schools: Learning, Leading, Technology, 22(3). Récupéré du site : http://www.otago.ac.nz/cdelt/otago064509.pdf

Meirieu, Ph. (1994). *Apprendre... oui, mais comment ?* Paris : Edition ESF.

Minh, T. K. (2012) Les fonctions dans un environnement numérique d'apprentissage: situations d'apprentissage et genèses instrumentales des élèves. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, *12*(3), 233-258. Récupéré le 16 février 2016 sur le site de la revue : http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14926156.2012.704127 aussi accessible à :http://didel.script.univ-paris-diderot.fr/claroline/backends/download.php?url=L0RvY3NfZGl2ZXJzL01pbmhfQ0pTTVRFX1ByZXByaW50LnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=TICE_LDAR

Mitchell, M. (2009). *Complexity, guided tour (349)*. Oxford : Oxford University Press.

Mœglin P. (1998), « Introduction », in Mœglin P. (dir.), *L'industrialisation de la formation : état de la question*, Paris, Centre national de documentation pédagogique, p. 7-36.

Morin, E. (1973). *Le paradigme perdu: la nature humaine*. Paris, Editions du Seuil.

Morin, E. (2008). *La Méthode*. Paris : Opus Seuil.

Moudni, S. (2015). *Impact du tutorat sur le taux de réussite des MOOC.* (Mémoire de master 2 non publié). Université de Strasbourg, France.

Meunier, J.P.et Peraya, D. (2004). *Introduction aux théories de la communication. Analyse sémio-pragmatique de la communication médiatique* (2ème édition revue et augmentée), Bruxelles : De Boeck.

Mucchielli, A. (2006). Un nouveau domaine des sciences info-com : la formation à distance. *Distances et savoirs*, *4*(2), 223-229.

Musso, P., Ponthou, L., Seulliet, É. (2007). *Fabriquer le futur 2. L'imaginaire au service de l'innovation.* Paris : Village mondial.

Nioche, J.-P. (1982). De l'évaluation à l'analyse des politiques publiques. *Revue française de science politique*, 32(1), p. 32-61. Récupéré du site : http://www.persee.fr/doc/rfsp_0035-2950_1982_num_32_1_393996

Nioche, J.-P. (1997). Pour un bon usage de l'expérimentalisme dans l'évaluation des méthodes pédagogiques. *Enseignement et gestion, 2,* 69-86.

Nodenot, T., Laforcade, P. et Le Pallec, X. (2007). Visual design of coherent technology-enhanced learning systems: A few lessons learnt from CPM language. Dans L. Botturi et S. T. Stubbs (dir.), *Handbook of visual languages in instructional design: Theories and practices* (p. 254-280). Hershey, PA : IDEA Group.

Nodenot, T. (2007). Scénarisation pédagogique et modèles conceptuels d'un EIAH : que peuvent apporter les langages visuels ? *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 4(2), 85-102.

Nonga Honla, J. (2000). Jean-Louis Le Moigne « La Modélisation des systèmes complexes ». *Les fiches de lecture de la Chaire D.S.O.* [en ligne]. Récupéré du site : http://mip-ms.cnam.fr/servlet/com.univ.collaboratif.utils.LectureFichiergw?ID_FICHIER=1295877018078

Oubahssi, L., Grandbastien, M,. Ngomo, M,. Claes, G. (2005). The Activity at the Center of the Global Open and Distance Learning Process. Dans t*he 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2005)* (p. 386-394). Amsterdam, Pays-Bas.

Oubahssi, L. et Grandbastien, M. (2007). Une généralisation du modèle d'activité d'IMS LD pour les systèmes de e-formation. *E-TI : la revue électronique des technologies de l'information (4).* Récupéré du site de la revue le 31 mars 2015 : http://revue-eti.net/document.php?id=1476#tocto7

Ouzilou, O. (2011). *Rationalité épistémique et sciences sociales*, Jun 2011, Aix-en-Provence, France. Récupéré du site : https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00664684/

Papert, S. (1981). *Jaillisement de l'esprit : ordinateurs et apprentissage* (Rose-Marie Vassallo-Villaneau, trad., supervisé par J. Perriault avec le concours de J.M. Salomon). Paris, France : Flammarion. (Ouvrage original publié en 1980 sous le titre *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas.* New York, NY: Basic Books).

Paquette, G. (1996). La modélisation par objets typés: une méthode de représentation pour les systèmes d'apprentissage et d'aide à la tâche. *Sciences et techniques éducatives*, Paris, France, avril, p. 9-42.

Paquette, G., Aubin, C., et Crevier, F. (1997). Méthode d'ingénierie d'un système d'apprentissage (MISA), *Revue Informations in Cognito, 8*.

Paquette, G. (2002a). *L'Ingénierie pédagogique : pour construire l'apprentissage en réseau*. Québec : Presses de l'Université du Québec.

Paquette, G. (2002b). *Modélisation des connaissances et des compétences*. Québec : Presses de l'Université du Québec.

Paquette, G. (2010). Modeling for Research and Communication. Dans *Visual Knowledge Modeling for Semantic Web Technologies: Models and Ontologies*, p. 439-465. IGI Global.

Pernin, J.-P. et Lejeune A. (2004, octobre). Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies : vers une ingénierie centrée sur les scénarios. In *Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et de l'Industrie*, oct. 2004, Compiègne, France. Université de Technologie de Compiègne, p.407-414. Récupéré de HAL : https://halshs.archives-ouvertes.fr/edutice-00000730/document

Pothier M. (2003). *Multimédias, dispositifs d'apprentissage et acquisition des langues*. Paris : Ophrys.

Pavlov I. (1954), *Œuvres choisies*, Moscou, Ed. en langues étrangères.

Pavlov I. (1961), *La psychopathologie et la psychiatrie*. Moscou, Ed. en langues étrangère.

Peraya, D. (1999). Médiation et médiatisation : le campus virtuel. Hermès, Vol. 25, p. 153-168. Récupéré du site : http://archiveouverte.unige.ch/unige:17780

Peraya, D. (2003). De la correspondance au campus virtuel : formation à distance et dispositifs médiatiques. In Charlier, B. & Peraya, D. (Éd.). Technologie et innovation en pédagogie. Dispositifs innovants de formation pour l'enseignement supérieur (pp. 79-92). Bruxelles : De Boeck. Accès réservé à la communauté de l'Université de Genève : Récupéré du site : http://archive-ouverte.unige.ch/unige:29016

Peraya, D. 2005. La formation à distance : un dispositif de formation et de communication médiatisées. Une approche des processus de médiatisation et de médiation. TDR, (0a): 12. http://www.revue-tice.info/document.php?id=520

Peraya, D., Charlier B., et Deschryver, N. (2008). Dispositifs hybrides (14-24). In Pernin, J.-P. & Godinet, H. (dir.) (2008). Rapport de recherche 2005-2007, *ACI « Terrains, Techniques, Théories »*. Projet ACTEURS (Activités Collectives et Tutorat dans l'Enseignement Universitaire : Réalités, Scénarios et usages des TICE). Lyon, France : INRP. Récupéré du site de Educice :http://eductice.ens-lyon.fr/EducTice/recherche/archives/acteurs/RapportProjetACTEURS.pdf

Peraya, D. et Peltier, C. (2012). Une année d'immersion dans un dispositif de formation aux technologies : prise de conscience du potentiel éducatif des TICE, intentions d'action et changement de pratique. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire, 9*(2), 111-135. Récupéré du site de la revue : http://ritpu.ca/IMG/pdf/RITPU_v09_n01-02_111.pdf (consulté le 26 mars 2013).

Peraya, D. et Bonfils, P. (2014). Détournements d'usages et nouvelles pratiques numériques : l'expérience des étudiants d'Ingémédia à l'Université de Toulon. *Sticef*, vol. 21, Récupéré du site de la revue mis en ligne le 25 mars 2014, consulté le 06 juin 2014 : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2014/19-peraya-epa/sticef_2014_NS_peraya_19.htm#fn4

Pernin, J.P. (2003). Objets pédagogiques : unités d'apprentissage, activités ou ressources ? *Sciences et Techniques Educatives, Hors-série 2003*, 179- 210.

Pernin, J.-P. et Lejeune, A. (2004). Dispositifs d'Apprentissage Instrumentés par les Technologies : vers une ingénierie centrée sur les scénarios, colloque TICE 2004, Compiègne, octobre 2004. Récupéré de HAL : https://halshs.archives-ouvertes.fr/edutice-00000730/document

Pernin J-P., Lejeune A., (2004b, avril). *Nouveaux dispositifs instrumentés et mutations du métier de l'enseignant*, 7ème biennale de l'Education, Lyon, avril 2004. Récupéré du site : http://www.inrp.fr/Acces/Biennale/7biennale/Contrib/longue/7134.pdf

Perrenoud, P., (2000). Tiré d'un entretien avec Philippe Perrenoud "*A arte de construir competências*" paru en portugais dans *Nova Escola* (Brasil), Setembro de 2000, pp.19-31. Propos recueillis par Paola Gentile et Roberta. Récupéré du site : http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_2000/2000_30.html

Perrenoud, P. (2004). « Qu'est-ce qu'apprendre ? ». *Enfance & Psy*, n°24, 9-17. Récupéré le 15 octobre 20012 du site : http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_2004/2004_08.html

Perriault, J. (1983). « Papert (Seymour). Jaillissement de l'esprit : ordinateurs et apprentissage » [compte rendu]. *Revue française de pédagogie, 62* (1), 94-96.

Piaget, J. (1969). *Psychologie et pédagogie*. Paris, France : Denoël.

Piaget, J. et Inhelder, B. (2004). *La psychologie de l'enfant*. Quadrige, PUF, 2004, (1ère édition : 1966, Que sais-je ?, PUF).

Piaser, A. (1999). Représentations professionnelles à l'école. Particularités selon le statut : enseignant, inspecteur (thèse de doctorat non publiée). Université de Toulouse-Le Mirail, Toulouse, France.

Poczrar, J. (1971). *Théories et pratique de l'enseignement programmé : Guide des enseignants*. Publié en 1971 par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, Unesco, Paris, ED. 70/XVI.7/F.

Poyet, F. et Genevois, S. (2012). Vers un modèle compréhensif de la généralisation des usages des ENT dans l'enseignement secondaire. *Revue française de pédagogie, 181*, 83-98. Récupéré du site de la revue : http://rfp.revues.org/3927

Popper, K. (1994). *Toute vie est résolution de problèmes*, Le génie du Philisophe, Ed. Actes Sud.

Portelli, P. (2010). Enseignement numérique : du sur mesure. *Savoir(s), 8*(10), le magazine d'information de l'Université de Strasbourg. Récupéré du site : http://www.unistra.fr/uploads/media/SAVOIR_S__8.pdf

Provitolo D., (2007), A proposition for a classification of the catastrophe systems based on complexity criteria. Dans *Proceedings of 4th European Conference on Complex Systems* (ECCS'07), - EPNACS'2007 - Emergent Properties in Natural and Artificial Complex Systems. Dresden, Germany

Provitolo, D. (2008). Théorie de l'auto-organisation critique. (2008, mis à jour 13 juillet). Dans *Hypergeo*. Récupéré de l'encyclopédie libre : http://www.hypergeo.eu/spip.php?article426#

Provitolo, D., Dubos-Paillard, E, Verdière, N., Lanza, V. Charrier, R. Bertelle, C. et Aziz-Alaoui, M.A. (2015). Les comportements humains en situation de catastrophe : de l'observation à la modélisation conceptuelle et mathématique. Cybergeo : Revue européenne de géographie, 735. Récupéré du site de la revue : http://cybergeo.revues.org/27150

Quintin, J.-J. (2008). *Accompagnement tutoral d'une formation collective via Internet - Analyse des effets de cinq modalités d'intervention tutorale sur l'apprentissage en groupes restreints* (thèse de doctorat, Université de Mons-Hainaut; Université Stendhal, Grenoble III, Grenoble, France). Récupéré d'archives-ouvertes (HAL) le 10 mai 2016 : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00349013/document

Raynal, F., Rieunier, A. et Postic, M. (1997). *Pédagogie : Dictionnaire des concepts clés : Apprentissages, formation, psychologie cognitive*. ESF.

Rabardel, P. et Bourmaud, G. (2003). From computer to instrument system: a developmental perspective. *Interacting with Computers, 15*(5), 665-691. Récupéré de : http://iwc.oxfordjournals.org/content/15/5/665.abstract

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approches cognitives des instruments contemporains*, A. Colin, Paris.

Regnier, A. (1968). Mathématiser les sciences de l'homme ? Revue française de sociologie, 9(3), 307-319. Récupéré de : http://www.persee.fr/doc/rfsoc_0035-2969_1968_num_9_3_1403

Richey, R.C., et Nelson, W.A. (1996). Developmental research. Dans D.H. Jonassen (Éd.) *Handbook of research for educational communications and technology* (pp. 1213-1245). New York : Macmillan.

Roberge, A. (2012). L'apprentissage inversé : avancée ou régression? Récupéré du site de Tot Cursus : http://cursus.edu/dossiers-articles/articles/18434/apprentissage-inverse-avancee regression/

Rochet, C. (2013a, 14 novembre). Chaos et émergence [Billet de blogue]. Récupéré du blogue de l'auteur : http://claude-rochet.fr/wp2/category/definition/modelisation-des-systemes-complexes/

Rochet, C. (2013b, 14 novembre). Comment un système devient complexe? [Billet de blogue]. Récupéré du blogue de l'auteur : http://claude-rochet.fr/wp2/sample-page/comment-un-systeme-devient-complexe/

Rogers, Y., Scaife, M., (1995). External cognition as an alternative framework for evaluating single, multi and virtual media. *In* J. Lee (Ed.). *First Int. Workshop on Intelligence and Multimodality in Multimedia Interfaces : Research and Applications*. Edimbourg : Université d'Edimbourg.

Rosnay, J. de. (1975). *Le macroscope : vers une vision globale*. Paris : Seuil.

Roux, J.-P. (2003). Socio-constructivisme et apprentissages scolaires, In R. Amigues (Ed.), *Petit vocabulaire raisonné à l'usage des professeurs débutants*, récupéré le 15 mai 2005 du site : http://recherche.aix-mrs.iufm.fr/publ/voc/n1/roux/index.html

Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F. et Lorensen, W. (1995). *Modélisation et conception orientées objet*, Paris, Londre, Edition française revue et augmentée, Masson, Prentice Hall.

Russell T. (2001). *The No Significant Difference Phenomenon: A Comparative Research Annotated Bibliography on Technology for Distance Education*. Chicago : IDECC, 5e éd. (1re éd. 1999). Récupéré le 25 octobre 2015: http://www.nosignificantdifference.org/

Santos, Olga C., Boticario, Jesus G., Barrera, C. (2004). *Authoring a Collaborative Task Extentending the IMS LD to be performed in a standard-based Adaptive Learning Management System called ALFANET*. Communication présentée à l'International Conference on Web Engineering, Munich, 26-30 juillet 2004, workshop AHCW'04, http://www.ii.uam.es/%7Ercarro/AHCW04/Santos.pdf

Selwyn, N. (2012). Making sense of young people, education and digital technology: The role of sociological theory. *Oxford Review of Education, 38*(1), 81-96. doi:10.1080/03054985.2011.577949

Scardigli, V. (1989). Nouvelles technologies : l'imaginaire du progrès. Dans A. Gras et S. Poirot-Delpech (dir.), *L'imaginaire des techniques de pointe. Au doigt et à l 'œil* (p. 97-114). Paris, France : L'Harmattan.

Schiffman, S.S. (1995). Instructional systems design, five views of the field. Dans G.J. Anglin (Éd.), *Instructional technology, past, present, and a future* (2e éd.) (pp. 131-143). Englewood, CO : Libraries Unlimited.

Schneider, D. K. (1994). *Modélisation de la démarche du décideur politique dans la perspective de l'intelligence artificielle* (Thèse de doctorat, Université de Genève, Suisse). Récupéré de : http://tecfa.unige.ch/tecfa/publicat/schneider/these-daniel/wmwork/www/phd_1.html

Schneuwly, B. et Bronckart, J.-P. (1985). *Vygotsky aujourd'hui*. Paris : Delachaux & Niestlé.

Scriven, M. (1967). The methodology of evaluation. In Tyler R., Gagne R., Scriven M. eds, *Perspective of curriculum evaluation*, Chicago, Rand Mc Nally, 39-83.

Serres, M. (2012). *Petite Poucette*. Paris : Le Pommier.

Serres, M. (2015, 24 janvier). *Le Monde.fr – MSciences*. [vidéo]. Récupéré de : http://www.lemonde.fr/sciences/video/2015/01/24/michel-serres-l-ordinateur-et-la-tete-de-saint-denis_4562802_1650684.html

Sfard, A. (1992). Operational origins of mathematical objects and the quandary of reification –The case of function. In G. Harel, & E. Dubinsky (Eds.), *The concept of function: Aspects of epistemology and pedagogy* (pp. 59-84). Washington, DC: Mathematical Association of America.

Shannon, Claude E. (1948, July). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, *27*(3), 379-423. doi:10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x

Shannon, C. E. et Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Univ of Illinois Press.

Shannon, C. E., Weaver, W. (1975). *Théorie mathématique de la communication*. Paris : Retz.

Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, *2*(1). Récupéré le 11 janvier 2016 : http://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm

Siemens, G., et Downes, S. (2011). The MOOC Guide (2011, mise à jour 22 septembre). Dans *Wikipédia*. Récupéré de https://sites.google.com/site/themoocguide/3-cck08---the-distributed-course.

Simon, H. A. (1981). *The Sciences of the Artificial*. MA: The MIT Press, Cambridge, (2e éd.).

Simon, H. A. (1991). *Sciences des systèmes, Sciences de l'artificiel.* Paris : Afsset Système, Dunod.

Simonian, S. (2010). Rencontre avec Stéphane Simonian à propos de son ouvrage. Hypertexte et processus cognitifs, quels enjeux pour l'apprentissage. *Questions Vives 4*(13), 401-409. Récupéré du site de la revue : https://questionsvives.revues.org/339 ; DOI : 10.4000/questionsvives.339.

Simonian, S. (2014). L'affordance socioculturelle : une approche éco-antrhopocentrée des objets technique. Le cas des Environnements Numériques d'Apprentissage. (HDR). Volume 1.

Skinner, B.F. (1995). La révolution scientifique de l'enseignement (The technology of teaching, 1968), 3e édit., 1995, Mardaga.

Smuts, J. (1926). *Holism and Evolution*. Londres, Macmillan & Co Ldt, 362 p.

Snowden, D., (2002). Complex acts of knowing: paradox and descriptive self-awareness. *Journal of Knowledge Management, 6* (2), 100-111.

Tardieu, H., Nanci, D. et Pascot, D. (1979). *Conception d'un système d'information. Construction de bases de données*. Paris : Les éditions d'Organisation.

Tardieu, H. Rochfeld, A. et Colletti, R. (1983). *La Méthode Merise, Principes et outils*, Paris. Les Editions d'Organisation.

Tattersall, C., Vogten, H., Brouns, F., Koper, R., Van Rosmalen, P, Sloep, P. Van Bruggen, J. (2003). *Delivering courses modelled using IMS Learning Design*. Heerlen: OUNL. Available at http://hdl.handle.net/1820/35. Retrieved on January 10th, 2005.

Tavris, C. et Wade, C. (1999). *Introduction à la psychologie - Les grandes perspectives*, Saint-Laurent, Erpi.

Tchounikine, P. (2009). « Précis de recherche en ingénierie des EIAH ». Récupéré le 24 mai 2015 du site : http://lig-membres.imag.fr/tchounikine/Precis.html

Tolila, P. (1997). Quand la prospective rêve de science *Le Banquet, la revue du (CERAP)* éditée par le Centre d'étude et de réflexion pour l'action politique, mis en ligne en janvier 1997, récupéré le 12 août 2015 sur le site de la revue, rubrique « archives »: http://www.revue-lebanquet.com/

Trestini, M. (2005). *Conception et étude d'un dispositif de formation à distance médiatisé par les technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement supérieur : cas de la formation initiale des enseignants* (thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France). http://www.inrp.fr/vst/Recherches/DetailThese.php?these=580

Trestini, M. (2006). Espace virtuel… et vrais apprentissages. *Cahiers pédagogiques*, *446*, 51-52.

Trestini, M. (2008). Préface. In Lemire, G. (éd.). Modélisation et construction des mondes de connaissances : Aspects constructiviste, socioconstructiviste, cognitiviste et systémique. Québec : Les Presses de l'Université Laval, p. 1-8. ISBN 978-7637-8755-8. http://www.pulaval.com/catalogue/modelisation-construction-des-mondes-connaissances-aspects-9187.html

Trestini, M. (2009a). Préface. In Lemire, G. (éd.). Modélisation et construction des mondes de connaissances : Aspects constructiviste, socioconstructiviste, cognitiviste et systémique. Cahier des Lectures MCX (Modélisation de la Complexité) [en ligne sur proposition de Jean-Louis Le Moigne], janvier 2009. Récupéré du site Réseau Intelligence de la Complexité : http://www.intelligence-complexite.org/fr/cahier-des-lectures/recherche-dune-note-de-lecture.html?tx_mcxapc_pi1%5Baction%5D=noteDetail&tx_mcxapc_pi1%5BidNote%5D=711&cHash=5562b2fabb662770b1ff919c52b86326

Trestini, M. (2009b). Etude des usages d'un cahier de textes en ligne dans l'environnement PLACE ». *Symposium International : « Distances et savoirs a sept ans ! », Cned-Eifad 2009*, Site du Futuroscope, Poitiers, 11 décembre. Récupéré du site : http://www.cned.fr/media/68580/symposium-marctrestini.pdf

Trestini, M. et Lemire, G. (2010). Environnements Constructivistes d'Apprentissage : quand les activités collectives et individuelles permettent aux apprenants de construire leurs connaissances. *Education Canada*, 50(1), 56-60. Récupéré du site de la revue : http://www.cea-ace.ca/sites/cea-ace.ca/files/EdCan-2010-v50-n1-Trestini.pdf

Trestini, M., Christoffel, E., et Rossini, I. (2010). Description et usages d'un nouveau dispositif de vidéo-cours : l'encre numérique. *Questions vives, Recherches en éducation*, *7*(14), 119-133. Récupéré du site de la revue : https://questionsvives.revues.org/656

Trestini, M. (2012). Causes de non-usage des TICE à l'Université : des changements ? Cas des enseignants du supérieur. *Recherches et Educations*, 6, 15-33. ISSN : 1760-7760. Récupéré du site de la revue le 26 octobre 2015 : http://recherccheseducations.revues.org/935

Trestini, M. (dir.), Coulibaly, B., Rossini, I., Christoffel, E., Pacurar, E. et Lemire, G. (2012). *Evaluation du dispositif d'Enseignement à Distance à l'Université de Strasbourg* (rapport de recherche). Strasbourg, France : Université de Strasbourg, LISEC. Récupéré du site de l'ifé (Institut Français de l'Education) : http://ife.ens-lyon.fr/vst/Rapports/DetailRapport.php?parent=actu&id=1738

Trestini, M. et Coulibaly, B. (2014). Vers une industrialisation de la formation à distance à l'université. *Distances et médiations des savoirs* [En ligne], 6 | 2014. Récupéré du site de la revue, mis en ligne le 26 mai 2014, consulté le 04 juillet 2014 : http://dms.revues.org/687

Trestini, M. (2014, 12 novembre). *De la classe inversée aux MOOC.* Interview réalisé par Michèle Archambault pour le Webdoc « La classe inversée », épisode 6, ESPE de l'académie de Strasbourg [vidéo]. Récupéré de : http://espe-formation.unistra.fr/webdocs/ci/#lesvideos

Trestini, M. et Rossini, I. (2015a). Les MOOC : perception des acteurs français de l'enseignement en ligne. *Revue Internationale des Technologies en Pédagogie Universitaire*, *12*(1-2), 93-106. Récupéré du site de la revue, mis en ligne le 22 décembre 2015, consulté le 22 décembre 2015 : http://www.ritpu.ca/IMG/pdf/RITPU_v12_n01-02_93.pdf

Trestini, M. & Rossini, I. (2015b). MOOC in the paradigm of systemic modelling of complexity: some emerging properties. *The Online Journal of Distance Education and e-Learning 4*(1), 44-49. Récupéré du site de la revue : http://www.tojdel.net/journals/tojdel/articles/v04i01/v04i01_04.pdf

Trestini, M., Coulibaly, B., Rossini, I. et Chevry, E. (2016). *Appropriation sociale des MOOC en France*. Londres : ISTE-Editions.

Tukey J. (1977). *Exploratory Data Analysis.* Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

Valéry, P. (1975). Cahiers. *Encyclopédie de la Pléiade*, Paris, France : Gallimard.

Varela, F. (1979). *Principe of Biological Autonomy*. New York: Elsevier- North Holland. Tr. Fr. 1989, Autonomie et connaissance. Essai sur le vivant. Tr. De P. Bourgine et P. Dumouchel, Paris, Edition du Seuil.

Vedel, T. (1994). Sociologie des innovations technologiques et usagers : introduction à une socio-politique des usages. Dans A. Vitalis (dir.), Medias et nouvelles technologies : pour une socio-politique des usages (p. 13-34). Rennes, France : Apogée.

Vergnaud, G. (2000). Lev Vygotski : Pédagogue et penseur de notre temps. Paris : Hachette.

Viallon, P. (2013). La communication touristique, une triple invention. *Mondes du Tourisme*, *7*, 2-11. Récupéré de http://tourisme.revues.org/171 ; DOI : 10.4000/tourisme.171

Virkkunen, J. (2007). Le développement collaboratif d'un nouveau concept pour une activité , @ctivités, 4(2),151-157. Récupéré du site : http://activites.revues.org/1758 ; DOI : 10.4000/activites.1758

Von Bertalanffy, L. (1956). *General System Theory*, General Systems Yearbook 1, 1:10.

Von Bertalanffy, L. (2012). *Théorie générale des systèmes* (J.-B. Chabrol, trad.). Paris : Dunod. (Ouvrage original publié en 1968 sous le titre *General System Theory*. New York, NY : Brazziler éds.).

Von Foerster, H. (1960). On self organizing systems and their environments. Dans M. Yovits & S. Cameron (Eds.), *Self-Organizing systems* (p. 31-50). London: Pergamon Press.

Von Neumann, J. (1966). *Theorie of Self-reproducing Automata*. Dans A.W. Burks (éd.), Urbana, Illinois, University of Illinois Press.

Villiot-Leclercq, E. (2007). Modèle de soutien à l'élaboration et à la réutilisation de scénarios pédagogiques (thèse de doctorat, Université de Montréal, Canada). doi:10.1522/030018885

Virkkunen, J. (2007). Le développement collaboratif d'un nouveau concept pour une activité. @ctivités, n.4 (2), p. 151-157.

Vygotski, L. (1985). La méthode instrumentale en psychologie. In *Vygotski aujourd'hui*, J.-P. Bronckart, & B. Schneuwly. Paris-Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.

Vygotski, L. (1997). *Pensée et langage* (F. Sève, trad.). Paris : La Dispute, 3e. éd. (Ouvrage original publié en 1934 en russe).

Vygotsky, L. (1978). *Mind in Society: the Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Waldvogel, F.A., Balavoine, J.-F., Perone, N. et Schusselé-Fillietaz, S. (2012). Les malades complexes : de la théorie des systèmes complexes à une prise en charge holistique et intégrée. *Revue Médicale Suisse 340*, 1022-1024. Récupéré de : http://www.revmed.ch/rms/2012/RMS-340/Les-malades-complexes-de-la-theorie-des-systemes-complexes-a-une-prise-en-charge-holistique-et-integree#rb3

Walliser, B. (2006). Les phénomènes émergents [en ligne sur le site de Paris-Jourdan Sciences Économiques - UMR8545]. Récupéré de : http://www.pse.ens.fr/users/walliser/pdf/phenom.pdf

Watson, J. (1972). *Le béhaviorisme.* Paris : Cepi.

Watzlawick, P., Helmick Beavin, J., Jackson, D. (1972). Une logique de la communication. Paris : Editions du seuil.

Wiley, D. A. (2000). Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy, in David A. Wiley, *The Instructional Use of Learning* Objects (Association for Educational communications and Technology).

Zin, J. (2003, 1 mai). La complexité et son idéologie [billet de blogue]. Récupéré le 26 août 2016 du blogue de l'auteur : https://jeanzin.fr/ecorevo/sciences/complexi.htm

Zniber, N. (2012). *Modèle orienté service pour la conception de parcours pédagogiques personnalisés* (thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille, France). Récupéré du site : https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/660281/filename/these-najlaa_zniber.pdf

Table des illustrations

Figure 1. Des psychologies cognitives aux pédagogies. 22
Figure 2. Exemple de fiche pour apprendre à écrire le mot « aérodynamique » (Poczrar, 1971, p. 55)..... 26
Figure 3. The MOOC Guide (Siemens et Downes, 2011). 37
Figure 4. Schéma d'un système (Le Moigne, 1977). 45
Figure 5. La triangulation systémique (Donnadieu *et al.*, 2003, p. 8)..... 48
Figure 6. Les étapes de la démarche systémique (Donnadieu et Karsky, 2002)..... 49
Figure 7. Métaphore d'un système ouvert (De Roynay, 1975, p. 102)..... 54
Figure 8. Scénario prédictif et scénario descriptif (Pernin et Lejeune, p. 412)..... 62
Figure 9. Dimensions d'évaluation, adapté par Dambreville (2008) d'après Senach (1993). . 68
Figure 10. Macro, méso et micro techniques pédagogiques (Dennery, 2013, 30 juillet) 72
Figure 11. La structure d'EML (Koper, 2000, p. 25)..... 77
Figure 12. EML affichée dans une structure d'arborescence XML (Koper, 2000, p.25)..... 78
Figure 13. Notation simplifiée d'une Unité d'étude sans contenu..... 79
Figure 14. Cycle de vie de création d'une unité d'apprentissage (Burgos *et al.*, 2005)..... 80
Figure 15. Architecture de la spécification IMS-LD, Niveaux A, B et C..... 82
Figure 16. Editeur de modèle graphique LD (G-MOT)..... 83
Figure 17. Exemple de scénario « classique » respectant la norme IMS-LD de niveau B 84
Figure 18. Exemple de codes XML de la spécification (Burgos *et al.*,2005). 85
Figure 19. Unité d'apprentissage d'IMS-LD 86
Figure 20. Modèle d'activités pour le processus global de la FOAD (Oubahssi et Grandbastien, 2007) 89
Figure 21. Niveau supérieur de l'ontologie d'un scénario de MOOC soutenant un apprentissage personnalisé (Bejaoui, Paquette, Basque, Henri, 2015, p. 4) 91
Figure 22. La structure de l'activité médiatisée (Vygotsky, 1978, p.40)..... 92
Figure 23. Relation individuelle médiatisée (d'après Kuutti, 1996 cité par Lewis 1998) 93
Figure 24. Modèle d'Engeström (1987)..... 93
Figure 25. Première génération de modèle de l'action médiée – Vygotski 96
Figure 26. Outil Tablet-PC (Surface Pro) 98
Figure 27. Exemple de rédaction de cours sur Tablet PC (Trestini, Christoffel, Rossini, 2010, 7 de paragraphe). 98
Figure 28. Expansion du modèle triadique de Vygotski (par Trestini)..... 99
Figure 29. Plan d'équipement des écoles en « Tablettes » (source : Site du gouvernement français, 12 mai 2016). 100
Figure 30. La représentation de la théorie des systèmes d'activité (d'après Engeström, 1987) 101
Figure 31. Relation individuelle médiatisée (Trestini et Lemire, 2010) 102
Figure 32. Structure de base d'une activité (Trestini et Lemire, 2010) 102
Figure 33. Modélisation à partir des données de l'analyse du système (Trestini, 2005). 103
Figure 34. Modèle avec extension du pôle Outil 105
Figure 35. Relations entre activités communautaires..... 108
Figure 36. Texte descriptif du scénario (Ferraris et al. 2005, p.6). 110
Figure 37. Diagramme d'activités UML du scénario (Ferraris et al., 2005, p.6)..... 111
Figure 38. Zoom sur une représentation en couleur de l'ensemble de Mandelbrot 121
Figure 39. Message transmis dans une voie qui part du système et aboutit à l'observateur.. 122
Figure 40. Processus de rétroaction de l'effet sur la cause. 123

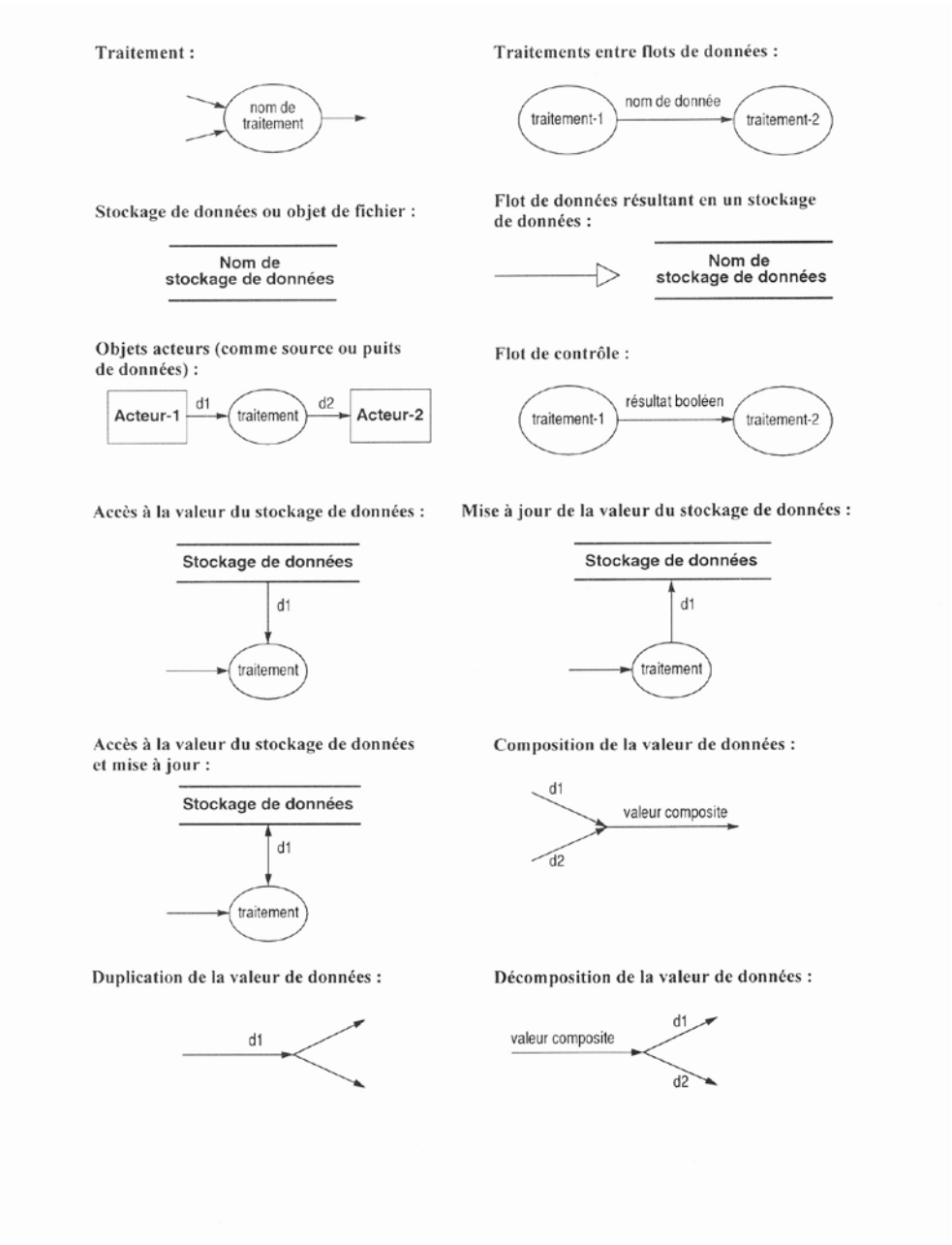
Figure 41. Niveau 5 de la description d'une organisation : L'objet décide de son activité. .. 131
Figure 42. Niveau 6 de la description d'une organisation..... 132
Figure 43. Modèle Canonique du système Organisation et ses trois sous-systèmes (SO, SI, SD). 133
Figure 44. Modèle ISO de processus (norme ISO 9000). 145
Figure 45. Modèle de Processeur de la M.S. 145
Figure 46. La conjonction systémique (Le Moigne, 1999, p.40) 151
Figure 47 : Identification du processus 152
Figure 48 : L'ENA représenté par une boîte noire 153
Figure 49 : Représentation d'un acteur de type humain 154
Figure 50. Représentation d'un acteur non-humain 154
Figure 51. L'ENA placé dans son dans son environnement 155
Figure 52 : Exemple de carte conceptuelle vierge d'un système de processeurs..... 156
Figure 53. Modélisation de l'environnement de travail des groupes (Peraya et Bonfils, 2014, p.26)..... 157
Figure 54 : Carte conceptuelle réalisée par une équipe de projet (Lemire, 2008, p.94). 159
Figure 55 : Exemple 1 de représentation hiérarchisée 160
Figure 56 : Exemple 2 de représentation hiérarchisée 160
Figure 57 : Les huit fonctions constitutives de tout environnement de formation médiatisée (Peraya, D., Charlier B., et Deschryver, N., (2008, p.20) inscrites au cœur de la carte conceptuelle du processus général d'un ENA..... 161
Figure 58. Application des fonctions constitutives dans les modèles précédents. 161
Figure 59. Huit processeurs en langage UML (package 162
Figure 60. Extrait du cas d'utilisation Soutien et tutorat construit pour le MOOC Gdp (voir schéma complet au § 7.1.1)..... 163
Figure 61 : Matrice des interrelations possibles entre N processeurs (Le Moigne, 1999, p.50) 165
Figure 62 : Identification des valeurs d'entrée et de sortie pour un état du système donné .. 167
Figure 63 : Diagramme de flot de données de plus haut niveau de l'interface MOOC 168
Figure 64. Diagramme à flots de données du processeur « Produire les sorties » d'un MOOC d'OpenClassrooms. 168
Figure 65. Diagramme à flot de données intégrant des fonctions de décision..... 170
Figure 66. Le Modèle canonique du Processus (Le Moigne, 1999, p. 47) 171
Figure 67. Diagramme d'état construit à partir d'un MOOC d'OpenClaasrooms. 174
Figure 68. Circuit du Tracking Web 177
Figure 69. Code de suivi sous Google Analytics 178
Figure 70. Fréquence des différents états, semaine par semaine (Boelaert et Khaneboubi, 2015)..... 179
Figure 71. « Tapis » des trajectoires individuelles des participants (Boelaert et Khaneboubi, 2015)..... 179
Figure 72. Modélisation pédagogique BoardZ combinant 5 critères 182
Figure 73. Modélisations pédagogiques du projet BoardZ 183
Figure 74. Simulation de l'IRIT sur la plateforme de simulation multi-agent NetLogo. 185
Figure 75. Diagramme de Packages fondé sur les huit fonctions constitutives de tout environnement de formation médiatisée. 191
Figure 76. Diagramme du cas d'utilisation « Awareness »..... 192
Figure 77. Diagramme de cas d'utilisation « Production ». 192
Figure 78. Cas d'utilisation « Activités métaréflexives » 193
Figure 79. Cas d'utilisation « Gestion et planification »..... 193

Figure 80. Diagramme du cas d'utilisation « Interactions sociales »..... 194
Figure 81. Cas d'utilisation « Evaluation »..... 195
Figure 82. Cas d'utilisation « Information ». 196
Figure 83. Cas d'utilisation « Soutien et accompagnement ». 197
Figure 84. Diagramme de classes « Utilisateurs ». 198
Figure 85. Diagramme de classes MOOC..... 199
Figure 86. Diagramme d'état-transition de l'étudiant..... 201
Figure 87. Diagramme de séquence « cours général »..... 202
Figure 88.Diagramme de séquence du « fil de discussion ». 203
Figure 89. Le script main.py 206
Figure 90. Moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension total du MOOC de tous les étudiants/jour. 208
Figure 91. Moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension du module de tous les étudiants/jour. 209
Figure 92. Moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension du module de tous les étudiants/Jour/expérience aléatoire. 210
Figure 93. Moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension du chapitre de tous les étudiants/jour. 211
Figure 94. Moyenne de l'ensemble des niveaux de compréhension du chapitre de tous les étudiants/jour/expérience aléatoire. 211

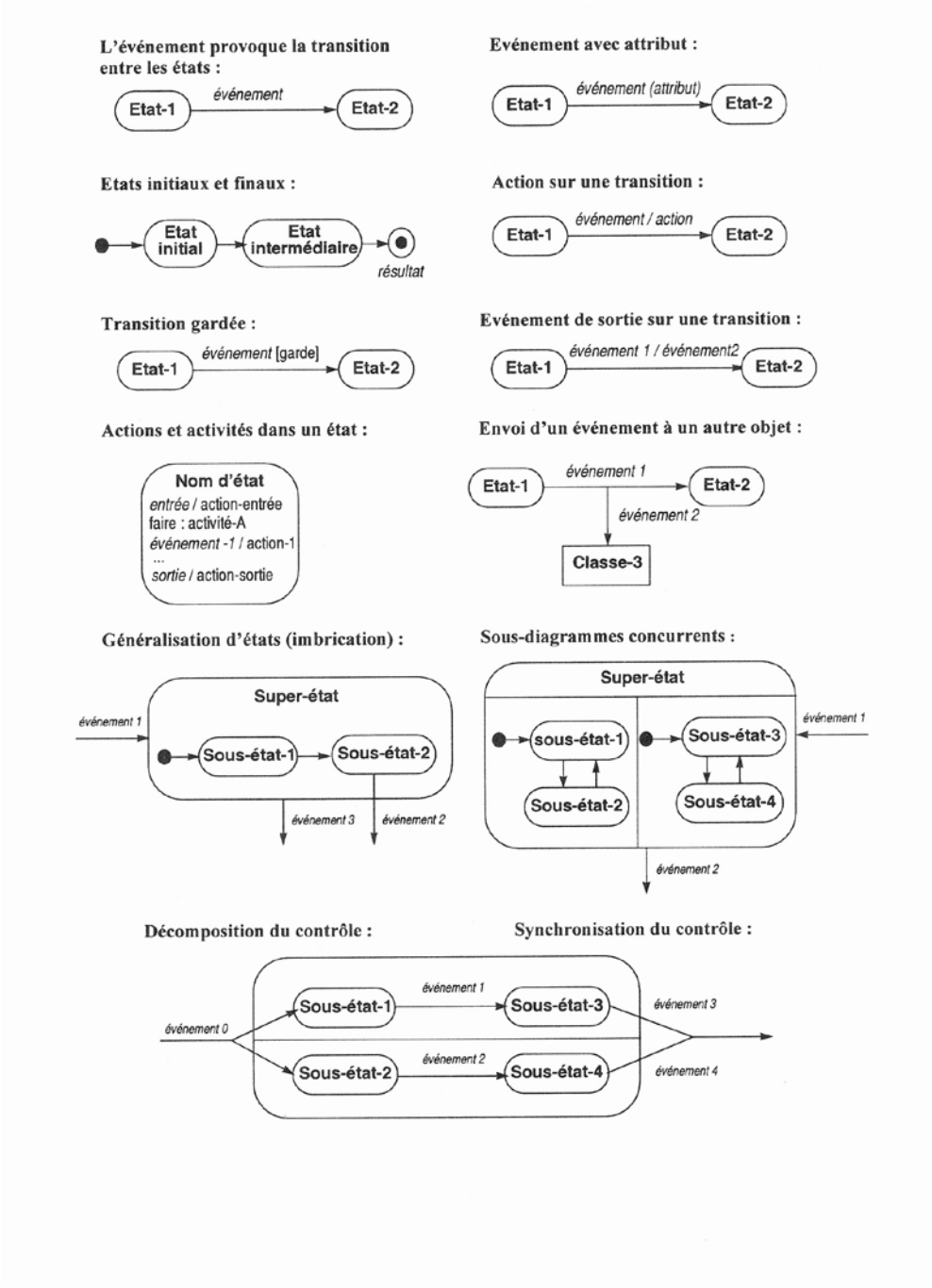
Tableau 1. Etages de l'activité de Leontief (1981) 57
Tableau 2. Les différentes générations de la théorie de l'activité (d'après Engeström, 2000, 2005) cité par Laguecir, *et al.* (2010, p. 49)..... 91
Tableau 3. Données récoltées à partir de rapport générés par Moodle (Christoffel 2013-2015) 180

Annexes

Annexe 1 : Notation du modèle fonctionnel



Annexe 2 : Notation du modèle dynamique



Annexe 3 : MOOC.py & Quiz.py

MOOC.py (C:\Users\Marc\Desktop\HDR\15. Modélisation et simulation\Code python\SimulationMOOC\MOOC\MOOC.py) - Interactive Editor for Python

File Edit View Settings Shell Run Tools Help

```python
#-*- coding: utf-8 -*-


"""10000 inscrits
    5000 suivent le cours
    2000 diplome
    Dans le modele on divise pour l'instant par 100
    Environ 10 pourcent avance
    """

class MOOC:
    def __init__(self):
        self.nombreInscrit = 0
        self.nombreDiplomeClassique = 0
        self.nombreDiplomeAvance = 0
        self.nombreDiplomeEquipe = 0
        self.membres = []
        self.modules = []

    def inscription(self, utilisateur):
        self.membres.append(utilisateur)
        self.nombreInscrit += 1
        if utilisateur.isEtudiant():
            if len(self.modules) >= 1:
                if len(self.modules[0].chapitres) >= 1:
                    utilisateur.chapitreSuiviActuellement = self.modules[0].chapitres[0] #initialise le premier cours si possible

    def getNombreModules(self):
        return len(self.modules)
```

Quiz.py (C:\Users\Marc\Desktop\HDR\15. Modélisation et simulation\Code python\SimulationMOOC\MOOC\Quiz.py) - Interactive Editor for Python

File Edit View Settings Shell Run Tools Help

```python
#-*- coding: utf-8 -*-
from random import gauss

from MOOC.Evaluation import Evaluation

class Quiz(Evaluation):
    def __init__(self, chapitreAssocie, *args, **kwargs):
        super(Quiz, self).__init__(*args, **kwargs)
        self.chapitreAssocie = chapitreAssocie
        self.type = 0
    def passerEvaluation(self, etudiant):
        if etudiant.nombreEssaiQuiz <= 1:
            resultat = gauss(etudiant.comprehensionChapitre, 0.1)
            etudiant.ajouterNoteQuiz(self, min(resultat, 1.))
            etudiant.nombreEssaiQuiz += 1
        return resultat
```

Annexe 4 : Etudiants.py

Etudiant.py (C:\Users\Marc\Desktop\HDR\15. Modélisation et simulation\Code python\SimulationMOOC\Utilisateur\Etudian

File Edit View Settings Shell Run Tools Help

main... | Ense... | Etudiant.py | EtudiantAv... | EtudiantCl... | EtudiantEq... | Refe... | Util... | Chap... | Eva

```python
#-*- coding: utf-8 -*-
from random import random
from useful import *



from Utilisateur.Utilisateur import Utilisateur

class Etudiant(Utilisateur):
    def __init__(self, *args, **kwargs):
        super(Etudiant, self).__init__(*args, **kwargs)
        self.actif = True
        self.diplome = False
        self.statut = None
        self.moduleSuiviActuellement = None
        self.chapitreSuiviActuellement = None
        self.nombreEssaiQuiz = 0 #0 jamais essaye 1 essaye une fois 2 essayer les deux fois
        self.notesQuiz = []
        self.comprehensionChapitre = 0.
        self.comprehensionModule = 0. #la somme des comprehesionChapitre divise par le nombre de chapitres
        self.comprehensionTotale = 0. #la somme des comprehensionModule divise par le nombre de modules
        self.implication = random()
        self.competence = random()
        self.motivation = random()
        self.prerequis = random()


    def mettreAJour(self):
        if self.chapitreSuiviActuellement == None: #si etudiant a fini tous les chapitres
            return None

        chapitre = self.chapitreSuiviActuellement
        quiz = self.chapitreSuiviActuellement.quizAssocie
        if assoc(self.notesQuiz, quiz) == 1. or self.nombreEssaiQuiz == 2: #l'etudiant a tout compris ou a fini tous ses essais --> il passe a un nouveau chapitre
            self.suivreChapitreSuivant()

        chapitre.visionner(self)


        if bernouilli(0.6): #6 chances sur 10 de passer le quiz, cf fichier useful.py
            quiz.passerEvaluation(self)

```

```
46      def ajouterNoteQuiz(self, quiz, note):
47          replace( self.notesQuiz, quiz, note)
48      def suivreChapitreSuivant(self): #retourne si un nouveau module est ouvert
49          nbChapitres =
self.chapitreSuiviActuellement.moduleAssocie.getNombreChapitres()
50          nbModules =
self.chapitreSuiviActuellement.moduleAssocie.moocAssocie.getNombreModules()
51          #Augmenter la comprehehnsion du module et totale
52          self.comprehensionModule += self.comprehensionChapitre / nbChapitres
53          self.comprehensionTotale += self.comprehensionChapitre / (nbModules *
nbChapitres)
54
55          #Determine si on change de module
56          estNouveauModule = True
57          if self.chapitreSuiviActuellement.getChapitreSuivant() == None:
58              pass
59          elif self.chapitreSuiviActuellement.moduleAssocie ==
self.chapitreSuiviActuellement.getChapitreSuivant().moduleAssocie:
60              estNouveauModule = False
61
62          #Change de chapitre et reinitialise les comprehensions adequates
63          self.chapitreSuiviActuellement =
self.chapitreSuiviActuellement.getChapitreSuivant()
64          self.nombreEssaiQuiz = 0
65          self.comprehensionChapitre = 0.
66          if estNouveauModule:
67              self.comprehensionModule = 0.
68
69
70      def forcerNouveauModule(self): #concretement, le rush du dimanche soir
71          """moduleDeLaSemaine = self.moduleSuiviActuellement.__repr__()
72          while self.moduleSuiviActuellement.__repr__() == moduleDeLaSemaine: #on fait
tous les chapitres jusqu'a arriver a un nouveau module
73              if self.chapitreSuiviActuellement == None:
74                  return None
75
76              quiz = self.chapitreSuiviActuellement.quizAssocie
77              quiz.passerEvaluation(self) #la restriction en nombre d'essai est faite
dans passerEvaluation
78              quiz.passerEvaluation(self)
79
80              self.suivreChapitreSuivant()"""
81              #Non fonctionnel
82
```

Annexe 5 : Chapitre.py

Chapitre.py (C:\Users\Marc\Desktop\HDR\15. Modélisation et simulation\Code python\SimulationMOOC\MOOC\Chapitre.py) -

File Edit View Settings Shell Run Tools Help

main... | Ense... | Etudiant.py | EtudiantAv... | EtudiantCl... | EtudiantEq... | Refe... | Util... | Chap... | Eva

```python
#-*- coding: utf-8 -*-
from MOOC.Quiz import Quiz

class Chapitre:
    def __init__(self, module, numero, enseignant, difficulte=0.5):
        self.difficulte = difficulte
        self.enseignant = enseignant
        self.chapitreSuivant = None
        self.quizAssocie = Quiz(self, difficulte)
        self.moduleAssocie = module
        self.numero = numero

    def suivre(self, etudiant):
        etudiant.chapitreSuiviActuellement = self
    def getChapitreSuivant(self):
        if self.chapitreSuivant == None and self.moduleAssocie.moduleSuivant == None:
            return None
        elif self.chapitreSuivant == None and len(self.moduleAssocie.moduleSuivant.chapitres) == 0:
            return None
        elif self.chapitreSuivant == None:
            return self.moduleAssocie.moduleSuivant.chapitres[0]
        else:
            return self.chapitreSuivant
    def visionner(self, etudiant):
        #Calcul d'un coefficient de progres: si tous les facteurs sont optimaux (valent 1) alors le coef vaut 1, si tous les facteurs valent 0 alors le coef vaut 0
        progres = (self.difficulte + self.enseignant.pedagogie + self.enseignant.implication + etudiant.implication + etudiant.competence + etudiant.motivation + etudiant.prerequis) / 7
        #Si le coef vaut 1, alors on comprend tout le cours d'un coup
        if etudiant.comprehensionChapitre + progres >= 1:
            etudiant.comprehensionChapitre = 1.
        else:
            etudiant.comprehensionChapitre += progres
        return progres
```

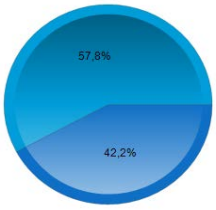
Annexe 6 : 2ième questionnaire MOOC

Votre expérience des MOOC
1 / 9

Inscrits GDP
Nombre d'observations :102

1. Vous êtes :

Taux de réponse : **100,0%**

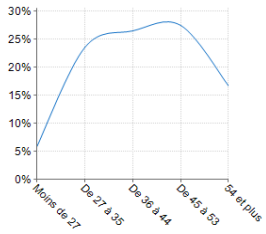


2. Votre âge ?

Taux de réponse : **100,0%**

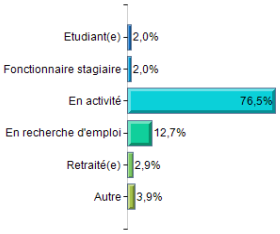
Moyenne = **42,25** Médiane = **42,50** Ecart-type = **10,50**

Min = **21** Max = **66**



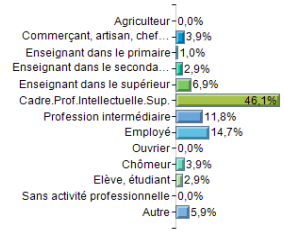
3. Votre statut professionnel :

Taux de réponse : **100,0%**



5. Catégorie socio-professionnelle

Taux de réponse : **100,0%**

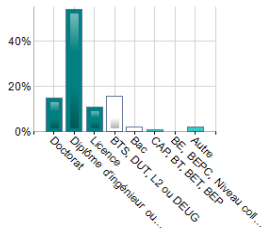


7. Quel est votre niveau d'études ?

Taux de réponse : **100,0%**

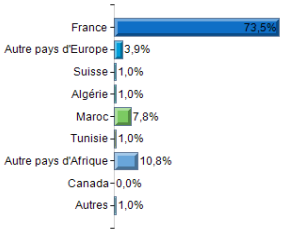
Moyenne = **2,49** Médiane = **2,00** Ecart-type = **1,30**

Min = **1,00** Max = **8,00**



9. Depuis quel pays accédez-vous au MOOC ?

Taux de réponse : **100,0%**

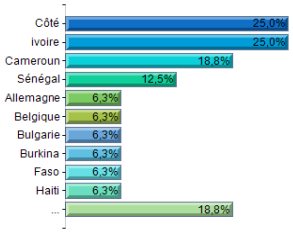


Votre expérience des MOOC
2 / 9

Inscrits GDP
Nombre d'observations :102

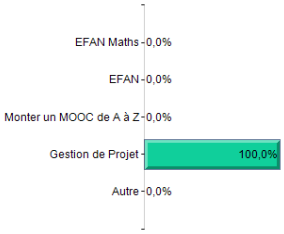
10. Précisez le pays :

Taux de réponse : **100,0%**



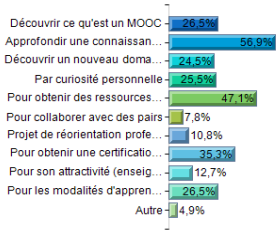
11. Pouvez-vous indiquer le MOOC que vous avez suivi ? Si vous avez suivi plusieurs MOOC, merci d'indiquer celui pour lequel vous allez répondre à la suite du questionnaire.

Taux de réponse : **100,0%**



13. Qu'est-ce qui a principalement motivé votre inscription dans ce MOOC ? Choisir les affirmations les plus représentatives (3 choix possibles au maximum).

Taux de réponse : **100,0%**

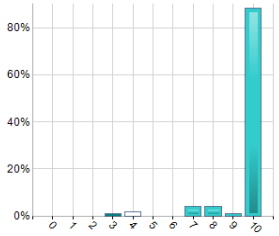


15. Evaluer votre degré de suivi du MOOC sur une échelle de 0 (abandon dès le début) à 10 (suivi jusqu'à la fin).

Taux de réponse : **100,0%**

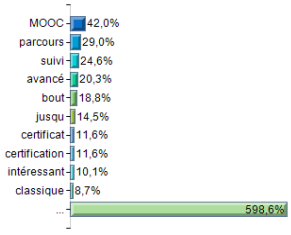
Moyenne = **10,61** Médiane = **11,00** Ecart-type = **1,25**

Min = **4,00** Max = **11,00**



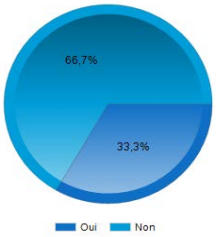
16. Justifiez ce choix :

Taux de réponse : **67,6%**



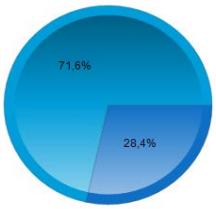
17. Avez-vous déjà suivi un MOOC avant celui-ci ?

Taux de réponse : **100,0%**



18. Avez-vous suivi une version précédente de ce MOOC ?

Taux de réponse : **100,0%**

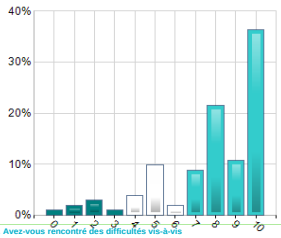


19. Avez-vous suivi les activités proposées par l'enseignant (regardé les vidéos, rendu les devoirs, participé aux forums, ...) ? Répondre de 0 (aucune activité) à 10 (toutes).

Taux de réponse : **100,0%**

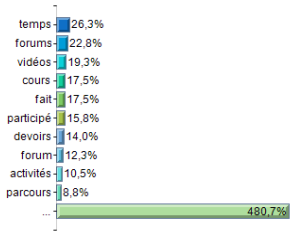
Moyenne = **8,81** Médiane = **9,00** Ecart-type = **2,48**

Min = **1,00** Max = **11,00**



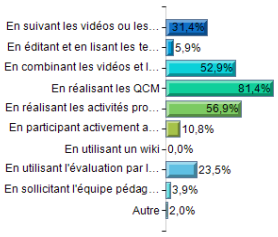
20. Justifiez ce choix.

Taux de réponse : **55,9%**



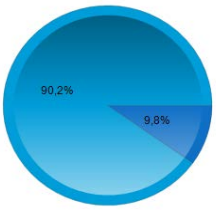
21. Comment avez-vous travaillé principalement votre cours ? Choisir les affirmations les plus représentatives (3 choix possibles au maximun).

Taux de réponse : **100,0%**



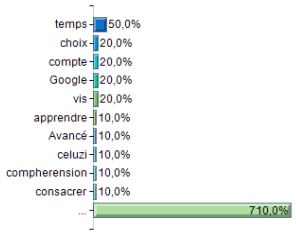
23. Avez-vous rencontré des difficultés vis-à-vis de l'organisation proposée ?

Taux de réponse : **100,0%**



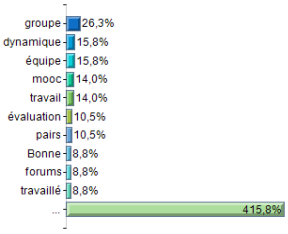
24. Si 'Oui' précisez :

Taux de réponse : **100,0%**



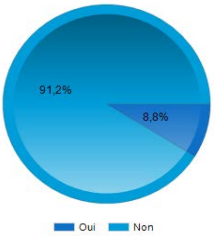
25. Comment avez-vous perçu la dynamique de travail en groupe pendant cette formation ?

Taux de réponse : **55,9%**



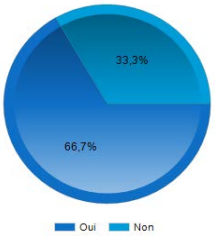
26. Avez-vous eu besoin d'aide pour suivre le cours ?

Taux de réponse : **100,0%**



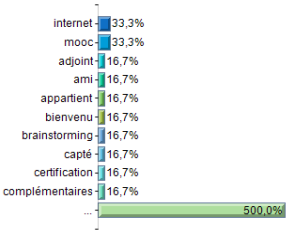
27. Avez-vous obtenu de l'aide pour suivre le cours ?

Taux de réponse : **100,0%**



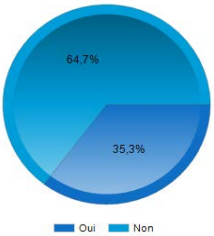
28. Si "Oui", précisez comment cette aide vous a été délivrée ?

Taux de réponse : **100,0%**



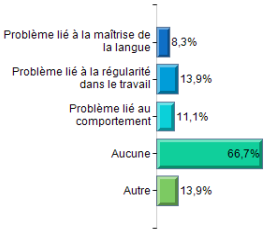
29. Avez-vous eu des interactions avec des collègues (apprenants) de pays différents ?

Taux de réponse : **100,0%**



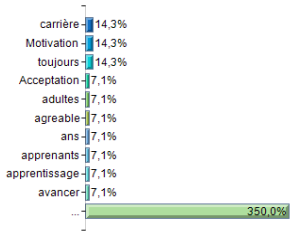
30. Avez-vous éprouvé des difficultés, de quelle nature ? Choisir les affirmations les plus représentatives (3 choix possibles au maximun).

Taux de réponse : **100,0%**



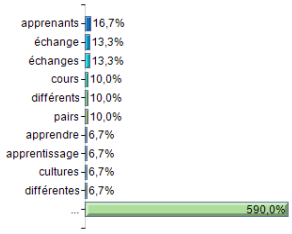
32. Comment expliquez-vous cela ?

Taux de réponse : **58,3%**



33. Que retenez-vous de positif dans un contexte de collaboration avec des apprenants de cultures différentes ?

Taux de réponse : **83,3%**

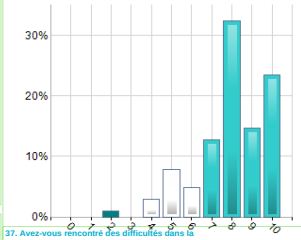


34. Que pensez-vous du mode d'évaluation de votre travail ? Répondre sur une échelle de 0 (Insatisfaisant) ; 5 (neutre, sans opinion, non concerné) à 10 (Très satisfaisant).

Taux de réponse : **100,0%**

Moyenne = **8,98** Médiane = **9,00** Ecart-type = **1,72**

Min = **3,00** Max = **11,00**

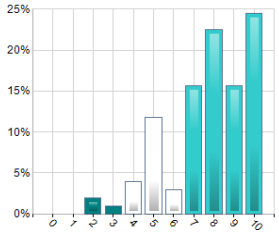


35. Que pensez-vous du mode de reconnaissance de votre travail ? Répondre sur une échelle de 0 (Insatisfaisant);5 (neutre); à 10 (Très satisfaisant).

Taux de réponse : **100,0%**

Moyenne = **8,75** Médiane = **9,00** Ecart-type = **2,01**

Min = **3,00** Max = **11,00**

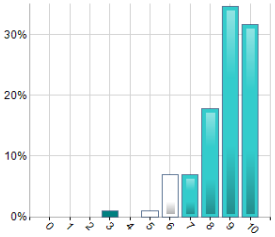


36. Evaluez votre niveau de compréhension du cours. Répondre sur une échelle de 0 (pas du tout) à 10 (tout à fait).

Taux de réponse : **99,0%**

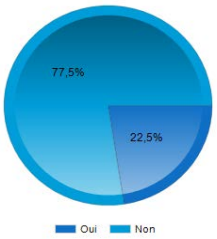
Moyenne = **9,69** Médiane = **10,00** Ecart-type = **1,35**

Min = **4,00** Max = **11,00**



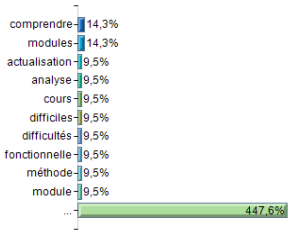
37. Avez-vous rencontré des difficultés dans la compréhension des contenus du cours ?

Taux de réponse : **100,0%**



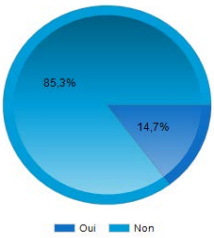
38. Si 'Oui' précisez :

Taux de réponse : **91,3%**



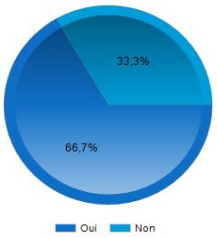
39. Avez-vous eu besoin d'aide ?

Taux de réponse : **100,0%**



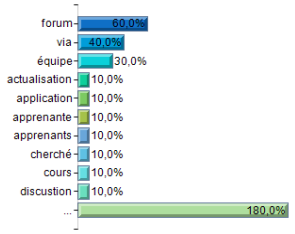
40. Avez-vous obtenu de l'aide ?

Taux de réponse : **100,0%**



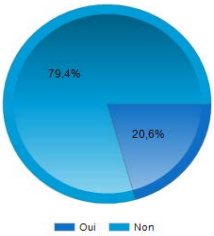
41. Précisez comment cette aide vous a été délivrée ?

Taux de réponse : **100,0%**



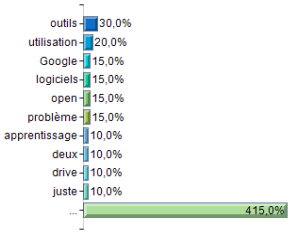
42. Avez-vous rencontré des difficultés dans l'utilisation des outils proposés (plate-forme, logiciels,...)?

Taux de réponse : **100,0%**



43. Si 'Oui' pourquoi ?

Taux de réponse : **95,2%**



Votre expérience des MOOC

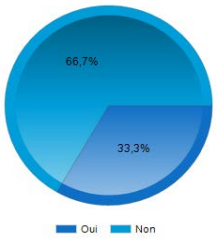
7 / 9

Inscrits GDP

Nombre d'observations :102

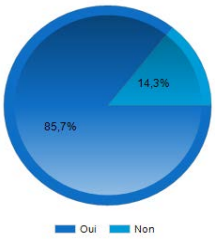
44. Avez-vous eu besoin d'aide ?

Taux de réponse : **100,0%**



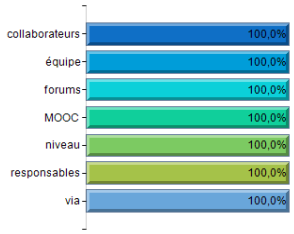
45. Avez-vous obtenu de l'aide ?

Taux de réponse : **100,0%**



46. Précisez comment cette aide vous a été délivrée ?

Taux de réponse : **100,0%**

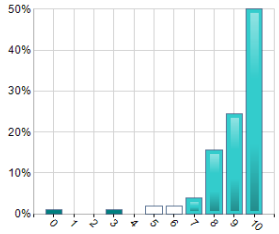


47. Quel est votre degré de satisfaction concernant cette formation ? Répondre sur une échelle de 0 (pas du tout) à 10 (tout à fait).

Taux de réponse : **100,0%**

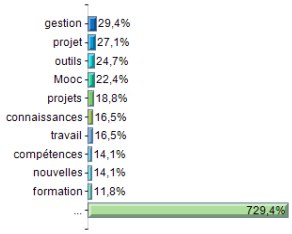
Moyenne = **9,98** Médiane = **10,50** Ecart-type = **1,57**

Min = **1,00** Max = **11,00**



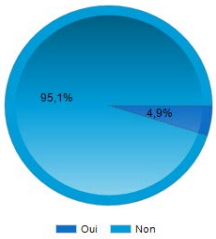
48. Quels bénéfices avez-vous retiré de cette formation ?

Taux de réponse : **83,3%**



49. Avez-vous trouvé difficile de vous former par ce moyen ?

Taux de réponse : **100,0%**



Votre expérience des MOOC

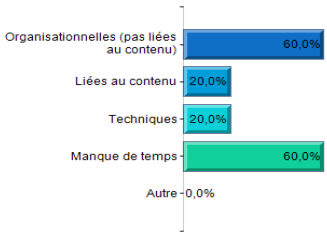
8 / 9

Inscrits GDP

Nombre d'observations :102

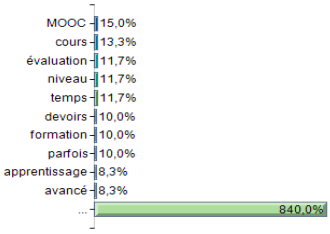
50. Les difficultés rencontrées étaient : choisir les affirmations les plus représentatives (3 choix possibles au maximun).

Taux de réponse : **100,0%**



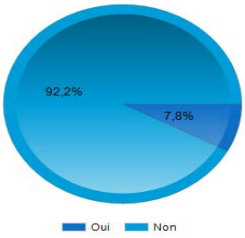
52. Quelles seraient selon vous les améliorations à apporter ?

Taux de réponse : **58,8%**



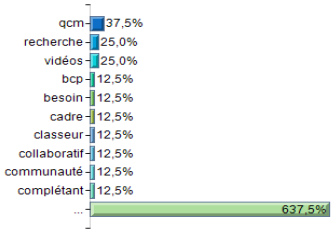
53. Avez-vous utilisé des fonctionnalités autrement que ce qui était prévu ?

Taux de réponse : **100,0%**



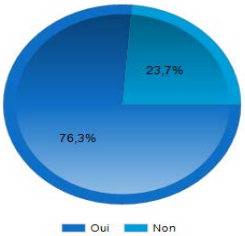
54. Lesquelles et comment ?

Taux de réponse : **100,0%**



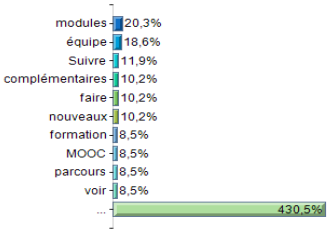
55. Une fois la formation terminée, pensez-vous vous reconnecter à ce MOOC ?

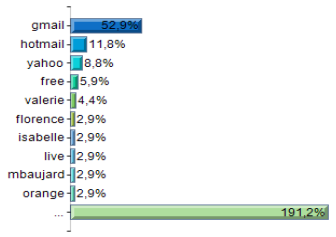
Taux de réponse : **91,2%**



56. Si 'Oui' pourquoi ?

Taux de réponse : **83,1%**



57. Nous souhaitons approfondir certaines questions avec vous lors d'un entretien individuel. Si la démarche vous intéresse vous pouvez laisser votre adresse mail ici.

Taux de réponse : **66,7%**