

## Préface

Appréhender les environnements numériques de dernière génération tels que les MOOCs connectivistes dans toutes leurs complexités constitue aujourd'hui un projet ambitieux, mais indispensable.

Indispensable, car ces environnements numériques d'apprentissage (ENA), comme le dit bien Marc Trestini, sont au cœur de l'économie de la connaissance entrée aujourd'hui dans notre quotidien et présents, à ce titre, dans certaines de nos universités, mais encore rarement totalement appréhendés.

Comment au cœur de ces ENA se construiront, s'échangeront, se partageront et se diffuseront les connaissances ?

Pour répondre à cette question, Marc Trestini nous propose d'adopter le paradigme de la modélisation des systèmes complexes proposé par Le Moigne [LEM 99]. C'est toute l'ambition de cet ouvrage accessible que de faire comprendre au lecteur ce paradigme en présentant une méthode, un langage et une illustration de sa mise en œuvre, mais surtout d'apprendre à « penser conjointement » plutôt qu'en disjoignant.

Avant d'entrer dans cette démarche prédictive, l'auteur propose un historique nous permettant de comprendre que la modélisation a toujours été indispensable pour décrire et comprendre les ENA au fil de leur histoire, depuis la machine à enseigner de Skinner, jusqu'aux derniers nouveaux environnements.

Pour aborder les formes de modélisation adaptées aux ENA, fondement de la Technologie de l'éducation, l'auteur nous rappelle le modèle de l'activité proposé par Engeström, bien adapté aux anciens ENA limités à un petit nombre d'apprenants et fermés par des intentions préalablement fixées par les concepteurs. Marc Trestini démontre bien que ce modèle n'est plus adéquat aux environnements de dernière

génération, ouverts à un très grand nombre d'apprenants. Il nous propose alors une approche de modélisation, instrument pour nous aider à appréhender la complexité des ENA de dernière génération.

Ainsi, le lecteur fatigué des discours creux, encore malheureusement trop fréquents aujourd'hui à propos des usages du numérique dans l'enseignement et la formation, trouvera dans cet ouvrage l'occasion d'appréhender au cœur de ces ENA, le phénomène central de l'apprentissage émergent, de le concevoir comme la réalisation d'activités instrumentées et d'en saisir la complexité.

Il apprendra aussi en s'engageant dans cette lecture beaucoup de connaissances indispensables : ce qu'est la modélisation, quels sont les langages de modélisation des EIAH (environnements informatiques pour l'apprentissage humain), ce qu'est la modélisation systématique de la complexité, comment la mettre en œuvre et, enfin, quelles sont les perspectives ouvertes pour les recherches à venir.

Il nous reste à souhaiter que ces connaissances soient partagées et construites par de nombreux spécialistes dans nos universités et hautes écoles et qu'elles ouvrent de nombreuses perspectives pour la recherche et le développement.

Bernadette CHARLIER

## Introduction

*« Le raisonnement algorithmique est un Pense Bête,  
le raisonnement heuristique est un Pense Intelligent.  
Ne peut-on dès lors tenir les algorithmes  
pour des heuristiques parmi d'autres,  
plutôt que comme des producteurs de résultats certains ?  
Nous restons seuls responsables des résultats  
de nos raisonnements, même s'ils sont informatisés. »<sup>1</sup>*

Avec Internet, les possibilités de communication n'ont cessé de se développer et de se diversifier, tant dans le cadre privé que dans le cadre familial. La facilité d'utilisation du Web 2.0 et ses inestimables potentialités en termes d'échange et de partage d'informations entre acteurs sociaux ont permis l'émergence d'une nouvelle société dite de la connaissance. Le Web social (autre nom donné au Web 2.0) représente un tournant dans l'organisation du lien communautaire et favorise l'émergence de nouvelles communautés d'apprentissage. Les professionnels de la formation et de l'enseignement à distance parlent d'apprentissage social (*social learning*) lorsqu'ils font référence à des communautés qui se constituent spontanément dans le but de partager des connaissances, mais aussi dans le cas de dispositifs de formation à distance plus formels qui intègrent des groupes d'apprentissage constitués de manière plus arbitraire<sup>2</sup>. Dans les deux cas, l'apprentissage se produit le plus souvent au cours d'activités dites collaboratives : « apprendre » résulte d'échanges entre pairs (conflits sociocognitifs) et d'imitation par l'observation du comportement d'autres personnes faisant partie du groupe d'apprentissage. Les communautés qui se constituent spontanément, pour

---

1. Jean-Louis Le Moigne à propos du présent ouvrage.

2. Lorsque c'est le concepteur de la formation qui décide lui-même de la constitution des groupes sociaux.

lesquelles l'apprentissage se construit généralement en dehors du contexte scolaire ou universitaire traditionnel, sont qualifiées d'apprentissage informel. Il correspond le plus souvent à un besoin d'apprendre personnel et relativement immédiat qui ne nécessite aucun cadre ni structure éducative particulière. Le principe consiste à commencer le partage des informations et des connaissances sur des réseaux (par exemple sur l'encyclopédie libre *Wikipédia*). Dès qu'un internaute s'interroge sur un mot, un lieu géographique ou la composition d'une recette de cuisine, il accède à l'information recherchée *via* le Web en utilisant généralement un moteur de recherche. L'apprentissage par les réseaux profite dans ce cas des nombreux moyens offerts par les technologies du Web, lesquelles se diversifient régulièrement en offrant aux internautes différentes voies d'accès possibles menant à la connaissance. Dans le deuxième cas, lorsque le groupe d'apprentissage est constitué arbitrairement, l'apprentissage répond à une procédure plus formalisée. La volonté individuelle d'apprendre grâce aux réseaux reste la même, mais elle s'accompagne aussi du désir d'appartenir à un groupe d'apprentissage formel, c'est-à-dire constitué au sein d'une structure institutionnelle de formation. Ce type d'enseignement ne diffère du *présentiel* (c'est-à-dire en présence physique) que par son utilisation des réseaux. Une inscription préalable (souvent payante) est généralement requise et les contenus ainsi que le rythme de la formation sont définis préalablement. Pour augmenter son efficacité et rétablir le lien social que la distance a tendance à fragiliser, les concepteurs de ce type de formation choisissent le plus souvent d'introduire une dimension collaborative à l'apprentissage. Cette modalité pédagogique, qui n'est pas propre à l'enseignement à distance (EAD), s'avère aujourd'hui particulièrement efficace dans ce contexte. Par ces différents moyens, à la fois technologiques et pédagogiques, l'EAD offre ainsi de nouvelles possibilités de se former à ceux qui vivent dans des régions reculées, qui travaillent ou qui ont un emploi du temps chargé. Le cadre formel d'une formation traditionnelle y est conservé, tout en offrant plus de souplesse et de flexibilité aux inscrits grâce aux nombreuses possibilités offertes par les réseaux.

Il existe par ailleurs bien d'autres possibilités de formation *via* les réseaux et une infinité de nuances entre les conceptions formelles et informelles de l'apprentissage en ligne. Selon la manière dont le dispositif est conçu, le « curseur » peut se placer n'importe où entre ces deux visions manichéennes ; ces modalités d'apprentissage sont alors qualifiées de semi-formelles. Nous aurons l'occasion d'y revenir en détail puisque les environnements numériques d'apprentissage fondés sur cette conception hybride font précisément l'objet de cet ouvrage : nous les appelons des environnements numériques d'apprentissage (ENA) de dernière génération. La *Khan Academy*, le *MIT OpenCourseWare* (OCW) ou encore les *Massive Open Online Course* (MOOC) en sont de très bons représentants. La *Khan Academy* propose des exercices, des vidéos et une plateforme d'apprentissage intelligente qui permettent aux internautes d'apprendre à leur rythme. Le *MIT OpenCourseWare* est un projet visant à mettre gratuitement en

ligne tout le matériel éducatif utilisé dans le cadre des cours universitaires donnés au MIT. Les MOOC et leurs dérivés permettent quant à eux un apprentissage à travers des cours en ligne ouverts aux internautes du monde entier. Le premier MOOC a vu le jour en 2008 au Canada. L'idée de ses fondateurs était de mettre en ligne un cours universitaire existant déjà en présentiel (CCK08<sup>3</sup>) et de l'ouvrir gratuitement à tout un chacun sans condition d'âge, de diplôme, ni de nationalité. Aucun effectif maximum n'était alors fixé. À l'aube de cette expérimentation, les fondateurs avaient enregistré 25 inscrits en présentiel ; après avoir ouvert ce cours en ligne, ils en comptaient 23 000 de plus ! Ces dispositifs, plus ou moins informels, révolutionnent aujourd'hui notre façon d'apprendre et d'enseigner. Leurs effets sur l'économie et les politiques des nations commencent d'ailleurs à se faire ressentir. Nos économies sont de plus en plus fondées sur la circulation et le partage du savoir et de l'information. C'est d'ailleurs pour cela qu'elles sont souvent qualifiées d'économies de la connaissance. Les indicateurs de cette économie portent sur la production et la gestion de la connaissance, tels que les dépenses de recherche et développement (R&D), le taux d'emploi des travailleurs diplômés et l'intensité de l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC). L'OCDE définit les économies fondées sur la connaissance comme « celles qui sont directement fondées sur la production, la distribution et l'utilisation de la connaissance et de l'information ». De fait, comme beaucoup d'autres ENA de dernière génération, les MOOC contribuent fortement au développement de ces économies et joueront très probablement un rôle capital dans les années à venir.

Parmi les différents environnements numériques d'apprentissage de dernière génération, les MOOC occupent une place importante dans cet ouvrage. Comme nous venons de le décrire, ils en sont d'emblée de parfaits représentants ; mais c'est aussi parce qu'ils seraient en voie de révolutionner les modalités d'apprentissage à tous les niveaux de l'enseignement dans le monde (de l'école primaire jusqu'à l'université). Les analyses qui porteront sur ces environnements particuliers pourront tout autant s'appliquer à d'autres dispositifs de formation à distance pour autant que ces derniers soient, tout comme les MOOC, des dispositifs « ouverts à tous » qui n'imposent aucune condition d'âge, de diplôme, de nationalité ou d'effectif à l'inscription. Ce sont d'ailleurs ces dernières caractéristiques qui expriment le mieux l'idée que nous nous faisons des ENA de dernière génération. Si nous voulons bien croire que ces environnements sont réellement en passe de révolutionner le monde de l'éducation et de la formation (comme l'annoncent fréquemment les médias), il nous sera plus difficile de prédire ce qu'ils seront demain et ce qu'ils apporteront comme nouveautés intrinsèques. C'est également pour cette raison que nous pensons qu'une *modélisation* de ces environnements peut être utile pour évaluer leur impact sur les apprentissages, mais aussi

---

3. CCK08 : *Connectivism and Connective Knowledge course* ouvert en 2008 (d'où le 08) de Stephen Downes et George Siemens.

pour prédire certains de leurs effets socio-économiques à moyen et long termes. Pour tenir compte de leur indéniable complexité, nous proposons dans cet ouvrage de les étudier dans le paradigme de la « modélisation des systèmes complexes » [LEM 99]. Les principes qui sous-tendent cette modélisation, aussi appelée *modélisation systémique* (MS), nous semblent en effet mieux adaptés à l'analyse de ces environnements que ceux de la *modélisation analytique* (MA) traditionnelle. Le principe général de cette dernière ne consiste en effet qu'à simplifier des phénomènes observés en opérant à de simples disjonctions et réductions. Si la MS se fonde elle aussi sur la nécessité de distinguer et d'analyser, elle « cherche de plus à établir la communication entre ce qui est distingué : l'objet de l'environnement, la chose observée et son observateur. Elle s'efforce non pas de sacrifier le tout à la partie, la partie au tout, mais de concevoir la difficile problématique de l'organisation » [MOR 90, p 43]. C'est donc en appliquant les principes de la *modélisation des systèmes complexes* à l'analyse des ENA de dernière génération que nous croyons pouvoir analyser convenablement ces environnements et observer d'éventuels phénomènes émergents, voire de dégager quelques tendances lourdes qui pourront être utiles aux différents acteurs économiques, politiques et sociaux à travers le monde. Les modèles facilitent aussi la production de connaissances sur certains phénomènes observés, comme les processus d'apprentissage en jeu par exemple. Les méthodes de simulation liées à cette modélisation systémique de la complexité permettent plus généralement de prédire des comportements possibles vers lesquels ces environnements peuvent converger. Par ces méthodes, il devient alors possible d'entrevoir des solutions vraisemblables en essayant un très grand nombre de conditions initiales, et aussi d'observer ce qu'il se passe si on change certaines interactions ou certains paramètres.

Avant d'aborder ces questions de modélisation, qui se trouvent être au cœur de cet ouvrage, nous proposons de revenir sur l'évolution historique des environnements numériques d'apprentissage en éducation afin de mieux comprendre les évolutions techniques et pédagogiques que ces environnements ont subies et dont les plus récents ont pu profiter. En effet, depuis les premiers travaux de Skinner et sa très célèbre « machine à enseigner<sup>4</sup> », les technologies n'ont cessé d'apporter au monde de l'éducation leur lot de nouveautés. Aujourd'hui, nous faisons le constat que les technologies n'ont pas fondamentalement modifié la manière dont nous apprenons<sup>5</sup>, mais qu'elles ont su se mettre au service des diverses pédagogies choisies par les enseignants eux-mêmes. Elles agissent donc comme un catalyseur en permettant, dans le meilleur des cas, d'accélérer ou d'améliorer certains processus d'apprentissage relativement bien connus. Tout au long du siècle dernier, les technologies éducatives et les psychologies cognitives n'ont pas évolué indépendamment les unes des autres mais plutôt de manière concomitante, les premières contribuant à « dynamiser » les secondes. Les technologies

---

4. *Teaching machine.*

5. Au sens des processus cognitifs et non pas des méthodes d'enseignement.

de première génération se contentaient par exemple de diffuser de la connaissance et répondaient parfaitement à la conception transmissive de l'enseignement de l'époque. De l'imprimerie de Gutenberg à la radio éducative, le but était de dispenser la connaissance au plus grand nombre. Les techniques alors mises en œuvre se basaient sur une conception transmissive de l'apprentissage selon laquelle l'enseignant dispense son savoir à l'apprenant, lequel était supposément dépourvu du savoir en question.

Vinrent ensuite les théories behavioristes de Skinner dont l'objectif était de maintenir un comportement durable chez l'apprenant. Pour ce faire, les réponses des élèves, conformes à celles qui étaient attendues, étaient systématiquement suivies de renforcements positifs (bons points, félicitations, encouragements, droit de poursuivre les exercices, etc.). Skinner lui-même fut le premier à créer une technologie au service de cette théorie qu'il baptisa *teaching machine*. Le principe de cette machine rudimentaire fut par la suite repris au moment de l'apparition des premiers micro-ordinateurs pour être utilisé en classe. Des logiciels d'entraînement spécifiques, aussi appelés exercices, ont permis à de nombreux élèves de progresser dans leur enseignement scolaire. Ils ont fait l'objet de plusieurs expérimentations et ont ouvert tout un champ de recherche en « technologie éducative » : l'ÉAO (enseignement assisté par ordinateur). Ces technologies constituent une amélioration des systèmes traditionnels permettant à l'élève de réviser voire d'approfondir certaines notions à acquérir sans la présence de l'enseignant. Elles ont en outre permis de renforcer des automatismes dans des apprentissages particuliers. La réponse aux questions posées est immédiate et répétée autant que nécessaire, favorisant ainsi la mémorisation. Il semble aujourd'hui reconnu que leur utilisation joue un rôle important dans le soutien scolaire et l'approfondissement des savoirs.

Le behaviorisme ne fait toutefois pas l'unanimité : c'est ainsi que Jean Piaget a été à l'origine d'un changement profond dans la conception de l'apprentissage, et que Seymour Papert a cherché à savoir quelle place pouvait avoir l'ordinateur dans cette nouvelle conception. Piaget propose une approche épistémologique de l'apprentissage qu'il nomme *constructivisme*. Pour lui, la connaissance est une *construction* mentale de la réalité que l'on forge en se confrontant à celle-ci. L'apprentissage ne doit donc pas se réduire à une transmission, mais l'apprenant doit au contraire en être acteur. Seymour Papert pensait qu'il n'était plus temps de proposer à l'enfant un apprentissage programmé, celui-ci devant devenir véritablement acteur de la construction de ses connaissances. Selon cette approche épistémologique de l'apprentissage, l'enseignant doit donc mettre à la disposition de l'apprenant des outils que celui-ci doit s'approprier. Le premier de ces nombreux outils est constitué par le langage que l'enfant assimile ; il apprend ensuite l'écriture grâce au papier et au stylo, puis il utilise toutes sortes d'objets de médiation comme le tableau noir par exemple. Les technologies du numérique à des fins éducatives n'ont pas de mal à entrer dans cette

logique et elles deviennent simplement des outils plus complexes qu'il faut apprendre à maîtriser. Cette théorie a ainsi donné naissance aux environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur (EIAO). Il s'agit de créer des « micromondes », dont l'un des premiers fut un environnement de programmation en langage Logo : l'apprenant teste des commandes qui permettent de faire bouger une tortue et s'approprie ainsi le langage à l'origine de son déplacement.

Enfin, des théoriciens soviétiques tels le psychologue Lev Vygotski ont ajouté une dimension sociale au constructivisme en fondant le courant « socioconstructiviste <sup>6</sup> ». Celui-ci affirme que l'on apprend mieux au contact des autres, car on peut échanger sur ses difficultés, s'entraider, regarder les autres faire, etc. Pour reprendre une formule célèbre de Vygotski [VYG 97, p. 355], « ce que l'enfant sait faire aujourd'hui en collaboration, il saura le faire tout seul demain ». De fait, l'activité instrumentée et collective dont nous faisons allusion plus haut se trouve être au cœur de cette théorie. En éducation, cette activité collective a lieu traditionnellement en classe, lorsque les élèves se livrent à des activités collaboratives, comme par exemple en menant à bien un projet commun ou pour résoudre collectivement une situation-problème. Mais elle peut aussi avoir lieu dans des environnements informatiques particuliers appelés EIAH (environnement informatique pour l'apprentissage humain). Ces environnements profitent des outils du numérique pour favoriser l'interaction entre différentes communautés (par exemple d'élèves, de parents d'élèves, d'enseignants...) et au sein de celles-ci. Progressivement, l'apprenant 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 et prend des décisions dans un univers construit électroniquement. Ces environnements d'apprentissage, par technologies interposées, entrent dans le cadre général de l'EAD (enseignement à distance), de la FAD (formation à distance) ou encore de la FOAD (formation ouverte et à distance)<sup>7</sup>.

Lorsque les théories de l'apprentissage sont vues par le biais des réseaux d'ordinateurs et du *connectivisme*, d'autres questions importantes se posent. Pour George Siemens [SIE 05], qui se trouve être à l'origine de cette conception connectiviste de l'apprentissage, la tentation naturelle des théoriciens est de continuer à réviser et de 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 : lorsque les conditions initiales sont modifiées de manière trop importante, l'ajustement des modèles à ces variations devient impossible. Une toute nouvelle approche est alors nécessaire et les questions à explorer doivent être traitées dans un autre cadre : celui de la *Théorie du*

---

6. En toute rigueur, c'est Jérôme Bruner qui donna ce nom à cette approche basée sur la théorie « historico-culturelle » de Vygotski.

7. Pour signifier leur ouverture et leur flexibilité dans les modalités de la formation.



*chaos* et des réseaux par exemple. Ce cadre d'analyse constitue à lui seul une véritable révolution dans le champ de la recherche sur les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH). Les MOOC et tous leurs consorts relèvent en grande partie de ces théories.

Pour les chercheurs en technologies éducatives, il s'agit donc de chercher à comprendre, à travers ces différentes théories de l'apprentissage, quelle est réellement la pertinence de l'usage de ces environnements numériques d'apprentissage en éducation et en formation ainsi que leurs effets cognitifs. Comme nous l'avons précisé plus haut, cela a été en partie rendu possible grâce à la construction de modèles, c'est-à-dire de représentations simplifiées de la réalité qui visent à être plus intelligibles. Ainsi, s'inscrivant dans cette logique, l'ouvrage explore immédiatement après ce rappel historique de l'évolution des ENA la question de leur modélisation.

Legendre [LEG 93] distingue deux types de modèles. D'une part, les modèles objets qui sont des objets cherchant à rendre compte le plus fidèlement possible d'une réalité observée à l'aide de données expérimentales. D'autre part, les modèles théoriques qui cherchent à ramener le phénomène observé à un phénomène plus général. Les modèles représentatifs des ENA que l'on cherche à construire sont surtout des modèles objets. Engeström [ENG 00 ; ENG 05]<sup>8</sup> a observé que pour chaque nouvelle forme de médiation mise en œuvre dans les environnements d'apprentissage, il y a eu création et apparition de nouveaux modèles pour en rendre compte. Ainsi, la première génération de médiation fut la *médiation individuelle* décrite par Vygotski. Le modèle associé fait apparaître l'outil comme média entre le sujet et l'objet au cours de l'activité. Ce modèle a été repris par Kuutti [KUU 96] pour l'appliquer au domaine de l'apprentissage médiatisé par les outils numériques. La deuxième génération de médiation est apparue avec le modèle d'Engeström qui illustre la *médiation collective* introduite par Leontiev et qui rend compte de l'importance du caractère collectif de l'activité. Le Sujet, l'Outil, l'Objet, les Règles, la Communauté et la Division du travail y sont représentés ainsi que les relations qui les lient. Engeström ajoute lui-même à ce modèle un modèle circulaire qui rend compte d'une observation proche de la dialectique hégélienne : 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. Ainsi, 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 [BRU 04, p. 3].

Dans cet ouvrage, nous considérons que si le modèle d'Engeström est bien adapté à l'analyse d'environnements numériques d'apprentissage traditionnels, notamment

---

8. Les différentes générations de la théorie de l'activité d'après Engeström [END 00, ENG 05], cité par Laguecir *et al.* [LAG 10, p. 49].

caractérisé par un effectif d'apprenants limité, il l'est en revanche beaucoup moins lorsqu'il s'agit de l'appliquer à l'analyse d'ENA de dernière génération caractérisés par leur grande ouverture au public. En effet, l'émergence des réseaux sociaux, des MOOC, de l'apprentissage informel *via* les réseaux et des approches connectivistes de l'apprentissage introduisent une complexité sans précédent dans l'histoire des ENA. Elle se caractérise en particulier par la variété des profils des apprenants, des motivations des inscrits, de l'âge, des catégories socioculturelles. Pour les étudier et en faire l'analyse, les modèles actuels montrent cruellement leurs limites car les « inscrits » sont trop nombreux et leurs profils trop différents en comparaison de ceux qui fréquentent les formations à distance traditionnelles (EAD). Leur aspect massif devient difficilement « représentable » dans un modèle traditionnel comme celui d'Engeström. Leur caractère « ouvert » n'en est pas moins difficile à modéliser car il faut tenir compte de leur ouverture sur le monde entier ! Enfin, leur évolution semble chaotique et leurs effets apparaissent *a priori* comme imprévisibles. Face à cette complexité, nous avons commencé par proposer un modèle d'expansion du modèle d'Engeström, lequel développe chacun de ses pôles dans le but de révéler l'existence de certains composants du système « enfouis » ou « masqués » à l'intérieur de chacun d'eux (voir figure 3.10). Nous voulions en cela ouvrir des « boîtes » (les pôles du modèle) pour en révéler les présumés constituants que nous avons besoin d'observer pour pousser plus avant notre analyse. Nous nous sommes ainsi lancés dans une décomposition en grappes de chacun des pôles du modèle en établissant de nouvelles relations entre chacun d'eux. Il en est ressorti un modèle hologigogne (gigogne en tout point). Le pôle « outil » par exemple mettait en évidence, grâce à cette décomposition supplémentaire, les artefacts pédagogique, didactique et technique qui le constituent. Cela nous a permis d'explorer les tensions susceptibles d'intervenir entre ces constituants plus fins et susceptibles de provoquer d'éventuels conflits instrumentaux [MAR 11] voire, à l'inverse, d'assurer une forme d'orchestration instrumentale [TRO 05]. De la même manière, la décomposition des autres pôles du modèle (objet, sujet, communauté, règles) nous donnait de nouveaux moyens d'analyse. Puis, à l'occasion de l'étude d'un « cahier de textes en ligne » au sein d'un ENT scolaire [TRE 09a], nous avons été conduits à développer ce modèle hologigogne dans un espace à trois dimensions afin d'y représenter les différentes communautés agissantes (parents, enseignants, élèves) et d'étudier les tensions perceptibles entre elles (voir figure 3.11). Nous aurions même pu aller plus loin en y ajoutant la communauté des concepteurs... Remarquons que si la deuxième génération de médiation collective, identifiée par Engeström, a bien fait l'objet d'une modélisation formelle de sa part, il n'existait à notre connaissance pas encore de modèle représentant la troisième génération de médiation dont Engeström lui-même faisait allusion, à savoir *la médiation au niveau intercollectif*. Avec le modèle en 3D proposé, les communautés agissantes ainsi que les relations qui les relient sont devenues plus facilement identifiables (voir figure 3.11). Ce modèle « étendu » facilite en outre l'étude de réseaux de systèmes d'activité en interaction.

Après ces indéniables avancées, les modèles présentés nous semblaient en capacité de répondre aux nouveaux défis de l'enseignement et de la formation à distance. Malheureusement, avec les innovations technopédagogiques des années 2010, nous nous sommes aperçus que la complexité croissante des ENA de nouvelle génération devait nous conduire à poursuivre cette décomposition, à découper à l'infini les constituants-objets du système. D'un sentiment d'incomplétude vis-à-vis des modèles existants était alors né ce besoin de les décomposer. Mais à ce sentiment s'est ajouté celui de se diriger à contre-courant de ce que la modélisation des systèmes complexes (MS) nous enseigne aujourd'hui dans son effort contemporain d'explicitation : raisonner en conjoignant plutôt qu'en disjoignant. C'est vraiment la question de fond que nous nous sommes posée. Sous son apparence systémique, et malgré tout l'intérêt du modèle d'Engeström et des expansions que nous avons proposées par la suite, fallait-il continuer ce découpage infini et s'attacher à cette logique disjonctive ? Était-il encore utile de vouloir absolument modéliser un système en adoptant une approche analytique qui vise à étudier séparément ses parties en vue d'en déduire un comportement global par simple sommation ? N'était-il pas plus judicieux de considérer que son comportement pouvait être « supérieur » à la somme des comportements de ses parties, comme le revendique la MS ? Sans doute efficace lorsque les sous-systèmes sont relativement faciles à identifier, la modélisation analytique (MA) nous est alors apparue moins adaptée dès lors que le système devenait complexe, car il devenait fastidieux de découper à un degré de détail qui deviendrait vite vertigineux. De plus, la méthode analytique n'est valable que lorsque les sous-systèmes sont indépendants : dans le cas contraire, un sous-système dont le fonctionnement aurait été déterminé lorsqu'il était isolé aurait un comportement tout autre une fois intégré dans le tout. Force est de constater que cette démarche atteint ses limites.

Après avoir explicité notre cheminement réflexif, nous proposons donc dans cet ouvrage d'adopter une tout autre démarche fondée sur le paradigme de la *modélisation systémique de la complexité*. Cette démarche (véritablement) systémique, qui adopte une approche conjonctive, considère l'ENA comme un système complexe, doté à chaque instant d'un certain nombre de propriétés modifiables par son environnement, mais qui peut aussi agir sur ce dernier, et qui se transforme en se faisant. Un tel système est de plus composé de sous-systèmes, lesquels sont considérés comme des systèmes à part entière au sens qui vient d'être établi, et dont l'environnement serait donc d'une part les autres sous-systèmes, et d'autre part l'environnement du « sur-système ». Grâce à cette modélisation, on peut correctement rendre compte des phénomènes de rétroaction, d'interaction mutuelle entre sous-systèmes et d'évolution des lois de comportement dans le temps. L'inconvénient évident réside dans ce qu'elle ne permet pas de prévoir aisément les effets du système : on a accès aux équations régissant le modèle, mais on ne sait pas forcément les résoudre. Cet inconvénient est cependant largement compensé par le fait que de tels modèles (par exemple ceux de la modélisation orientée objet)

permettent de mettre en œuvre des simulations ; on se passe donc d'une résolution analytique au profit d'une résolution numérique<sup>9</sup>. Mais la véritable révolution que représente ce changement de paradigme est qu'elle permet pour la première fois de mettre en place un modèle potentiellement prédictif. Et prévoir l'avenir ne constitue-t-il pas le but ultime de toute modélisation scientifique ?

Après cette introduction, nous décrivons au [chapitre 1](#) notre objet d'étude tel que nous le percevons, c'est-à-dire comme un *système d'activités instrumentées*. Pour expliquer ce point de vue, nous montrons l'existence d'un lien significatif entre l'évolution des technologies et l'évolution des conceptions de l'enseignement au cours du siècle dernier. Nous montrons en particulier que ces évolutions convergent vers une conception de l'enseignement-apprentissage essentiellement centrée sur la réalisation d'activités instrumentées.

Puis, nous rendons compte au [chapitre 2](#) 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 3](#) 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 technopédagogiques.

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 4](#)).

Après avoir décrit ce paradigme et argumenté ce choix, nous proposons au [chapitre 5](#) une démarche de modélisation systémique qui évolue en suivant les neuf niveaux croissants de complexité d'un système [BOU 04a] ; chaque niveau comportant tous les caractères des niveaux inférieurs.

Cela nous conduit à illustrer au [chapitre 6](#) 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 le [chapitre 7](#) aux perspectives de recherche que cette étude laisse entrevoir.

---

9. Une résolution analytique consiste à résoudre une équation de manière exacte grâce à des relations mathématiques connues. Une résolution numérique consiste à approximer les solutions grâce à la puissance de calcul d'un ordinateur.