Trois générations de théories de la complexité : nuances et ambiguïtés

mardi 26 juin 2012, par Michel Alhadeff-Jones

Sommaire

- Introduction : Complexité
- Racines étymologiques
- Genèse contemporaine
- Première génération de théorie
- Deuxième génération de théorie
- Troisième génération de (...)
- Préserver la complexité (...)
- Vers une nouvelle forme (...)

Ce texte a été traduit et adapté par son auteur à partir de l'article "Three Generations of Complexity Theories : Nuances and Ambiguities", publié en 2008 dans la revue Educational Philosophy and Theory *(vol. 40, n° 1, p. 66-82) et repris dans Mason, M. (Ed.) (2008).* Complexity Theory and the Philosophy of Education, *Oxford : Blackwell-Wiley. Nous remercions Michel Alhadeff-Jones de nous avoir autorisé à le publier ici [1].*

Résumé : Le recours contemporain à la notion de « complexité » renvoie fréquemment à des démarches ayant tendance à unifier sa définition. En langue anglaise, sa réduction à une forme singulière (*complexity theory* ou *complexity science*) s'avère ainsi susceptible de masquer la variété des théories permettant de rendre compte des implications inhérentes au recours à cette notion. Cet article, en prenant en considération à la fois les traditions de recherche latines et anglo-saxonnes, associées à la notion de complexité, suggère une approche plus nuancée, évitant la simplification de cette notion à certaines des conceptions dominantes qui y sont associées. Partant d'une approche étymologique, cet article propose d'envisager de façon chronologique l'émergence de trois générations de théories de la complexité ; ce faisant, certains de leurs enracinements épistémologiques et socioculturels sont introduits. D'un point de vue épistémologique, la réflexion proposée met en évidence certaines des interprétations hétérogènes sous-jacentes à la définition de ce qui est perçu comme complexe. Suivant une perspective anthropologique, ce texte évoque également la portée à la fois émancipatrice et asservissante susceptible d'être associée à l'idée de complexité. Sur la base des ambiguïtés mises en évidence, cet article suggère finalement de concevoir les contributions renvoyant aux théories contemporaines de la complexité, au même titre que la remise en question de leur légitimité épistémologique et éthique, à partir des boucles et des dynamiques dont elles sont constitutives. Ce faisant, les chercheurs et les praticiens en Sciences de l'éducation devraient considérer leurs pratiques en tant que processus d'apprentissage dont la complexité renvoie autant aux transformations qu'ils étudient ou provoquent, qu'aux transformations inhérentes aux systèmes de représentations auxquels ils ont recours pour les conceptualiser.

Mots-clés : Complexité, épistémologie, histoire des sciences, anthropologie de la connaissance, critique sociale.

> [Ce qui est complexe] ne peut se résumer dans le mot de complexité, se ramener à une loi de complexité, se réduire à l'idée de complexité. La complexité ne saurait être quelque chose qui se définirait de façon simple et prendrait la place de la simplicité. La complexité est un mot problème et non un mot solution. (Morin, 1990, p. 10)

Introduction : Complexité *versus* complexités

En 2002, le département américain de l'éducation mandata le *Washington Center for Complexity and Public Policy* pour conduire une étude visant à décrire la façon dont les agences gouvernementales, les fondations privées, les universités et les centres de recherche et de formation indépendants avaient recours aux « Sciences de la complexité » *(Complexity science)*. Ce rapport (Washington Center for Complexity and Public Policy, 2003) proposa une vue d'ensemble des démarches développées aux États-Unis. Il contribua à révéler la reconnaissance croissante des théories relatives à l'idée de complexité. Ce faisant, cette recherche participa également à la diffusion d'une vision partiellement tronquée, probablement représentative d'une tendance plus générale : la notion de « complexité » y est considérée comme unifiée, se révélant propice à une forme de réification. Sa réduction à une forme singulière (*complexity theory* ou *complexity science*) s'avère ainsi susceptible de conduire à négliger l'hétérogénéité des théories permettant de rendre compte des implications inhérentes au développement de l'idée de complexité.

Partageant la conviction selon laquelle le recours à cette notion représente un apport significatif en regard du développement contemporain des Sciences de l'éducation (Ardoino, 1963/1999, 1998, 2000 ; Ardoino & De Peretti, 1998 ; Morin, 2000), cet article vise à souligner l'importance d'entretenir une conception plus nuancée de ce terme, permettant d'éviter sa simplification et sa réduction à un nombre restreint d'expressions ou de théories dominantes. De façon plus radicale, la position développée suggère de prendre en considération les ambivalences fondamentales inhérentes à la notion de complexité. Dans cette perspective, une approche historique est apparue comme particulièrement pertinente à la fois pour enrichir les débats autour de la légitimité de cette notion, mais aussi pour resituer les significations qui y sont associées au sein d'un environnement culturel élargi, incluant les courants latins (généralement ignorés dans la littérature de langue anglaise) et anglo-saxons. Suivant un exposé chronologique reconnaissant l'émergence d'au moins trois générations de théories de la complexité (Le Moigne, 1996, 2001a), cet article vise à mettre en évidence leurs racines à la fois épistémiques et socio-culturelles. Passant d'une approche historique à une perspective épistémologique et anthropologique, ce texte cherche ainsi à souligner la présence de plusieurs interprétations sous-jacentes à la définition de l'idée de complexité. Une telle approche contribue finalement à envisager l'activité scientifique en tant que processus d'apprentissage exigeant, au-delà de l'exploration des antagonismes et des complémentarités qui en sont constitutifs, de considérer les apports et les limites qui caractérisent sa propre complexité (Morin, Motta & Ciurana, 2003).

Racines étymologiques

Si certaines nuances apparaissent selon les sources, on peut retenir que « complexe » (et plus fréquemment complexion) est emprunté au XIVe siècle au latin *complexus*, dérivé de *cum* et de *plecti, plexi, plectere, plexum* signifiant tourner ou rouler ses cheveux, friser, entrelacer, tresser, puis enlacer, embrasser, contenir (et non plier, comme l'écrit de façon erronée le *Littré*) (Ardoino, 2000). Le mot est repris au XVIe siècle comme adjectif pour qualifier tout ce qui est composé de divers éléments hétérogènes. (Rey, 2000). En tant qu'adjectif, le terme renvoie ainsi à un *« composé d'éléments qui entretiennent des rapports nombreux, diversifiés, difficiles à saisir par l'esprit, et présentant souvent des aspects différents »*. On parlera ainsi d'une personnalité, d'une société, d'un sentiment ou d'une pensée complexes (Institut National de la Langue Française, 2005). Le terme « complexité » (substantif féminin) apparaît plus tardivement (1755) fournissant le nom d'état correspondant au caractère de ce qui est complexe, au fait d'être complexe (souvent par rapport à un objet de même nature qui l'est moins) (Rey, 2000 ; Institut National de la Langue Française, 2005).

Au cours des siècles passés, le recours au qualificatif « complexe », exprimant un pluriel de quantité et un pluriel de qualité, a véhiculé différentes significations plus spécifiques, notamment en linguistique (sujet ou attribut complexe), en sémiotique (terme complexe), en mathématique (nombre complexe) ou en musique (son complexe) (Institut National de la Langue Française, 2005). Comme substantif masculin, la signification du terme « complexe » renvoie également à un ensemble d'éléments divers, le plus souvent abstraits, qui, par suite de leur interdépendance, constituent un tout plus ou moins cohérent. Substantivé au sens d'« ensemble » en physiologie (1781) (où il traduit le latin *complexus* employé concurremment pour évoquer des masses musculaires paires), il passe en économie (1918) (Rey, 2000), en chimie (où il renvoie à un certain type de molécule), en biologie (complexe de Golgi), et en géométrie (complexe de droites ou complexe linéaire). Au début du XXe siècle, il apparaît en psychanalyse pour rendre compte d'un *« ensemble de représentations et de souvenirs à forte valeur affective, contradictoires, partiellement ou totalement inconscients, et qui conditionnent en partie le comportement d'un individu »* (complexe d'Œdipe, complexe d'infériorité, etc.) (Institut National de la Langue Française, 2005). Il se diffuse également en psychologie (Théorie de la forme ou *Gestalt*), en médecine (complexe ganglio-pulmonaire) et en électroencéphalographie (complexe d'ondes anormal ou aberrant). Finalement, l'idée de complexe renvoie également à l'idée de composé, utilisé comme synonyme de composite, varié, mixte, ou même bâtard. Sous cette acceptation, le terme apparaît notamment en pédologie où il renvoie à la constitution des sols *(ibid.)*

Comme le relève Ardoino (2000), à travers ses différents emplois le terme « complexité » s'oppose toujours à simplicité : « Tantôt ce qui l'emporte dans sa définition c'est le caractère "molaire" ; "holistique", global, "non linéaire" de la forme d'intelligibilité qu'il requiert ; tantôt c'est le caractère pathologique, à tout le moins touffu, enchevêtré, rebelle à l'ordre normal de la connaissance qui semble prédominer. » (p. 65). Une telle opposition apparaît ainsi associée à une confusion fréquente dans l'usage, dont Ardoino rappelle qu'elle est signalée comme abusive par pratiquement tous les dictionnaires, entre « compliqué » (étymologie *plicare* : plier) et « complexe ».

Garder à l'esprit l'environnement sémantique et conceptuel associé à l'idée de complexité apparaît d'emblée comme nécessaire si l'on souhaite éviter les risques inhérents à la réduction de la compréhension de cette notion. Une telle optique invite ainsi à explorer les significations et les recours les plus fréquents qui y sont associés, en sachant qu'ils s'inscrivent au sein d'un ensemble

sémantique dont les filiations sont plus riches que la somme de ses constituants.

Genèse contemporaine

Lorsqu'il formule en 1934 une approche non-cartésienne de la science, Bachelard est probablement le premier à légitimer le rôle de la complexité, en tant qu'idéal pour les sciences contemporaines (Le Moigne, 1996). Si une épistémologie cartésienne réduit un phénomène complexe à l'analyse de ses composants, compris comme simples, absolus et objectifs, une épistémologie non-cartésienne des sciences privilégie quant à elle une approche dialectique appréhendant les phénomènes en tant que tissus de relations : *« Il n'y a pas d'idée simple, parce qu'une idée simple […] doit être insérée, pour être comprise, dans un système complexe de pensées et d'expériences.* » (Bachelard, 1934/2003, p. 152). La reconnaissance de la complexité apparaît dès lors à la racine d'un nouveau type d'explication scientifique percevant la simplicité en tant que phénomène provisoire. Dans une telle perspective, si la complication renvoie à l'idée d'une situation enchevêtrée dans l'attente d'être démêlée, la complexité suppose, quant à elle, une fondamentale non simplicité des phénomènes étudiés (Ardoino, 2000).

L'appropriation effective du concept de complexité par la communauté scientifique débute une décennie plus tard. Dans *« Science and Complexity »*, un article de référence revisitant la transformation des sciences depuis le XVIIe siècle, Weaver (1948) identifie l'émergence successive de trois façons de concevoir la complexité des problèmes abordés dans le champ scientifique.

La première, identifiée plus tard en tant que « paradigme de la simplicité » (Morin, 1977/1980), est apparue entre le XVIIe et le XIXe siècle. Ancrée dans les modèles proposés par la physique classique, elle valorise l'objectivité, l'explication causale, les données quantitatives et la certitude. Suivant ce paradigme, une situation reconnue comme complexe doit être appréhendée à partir de sa réduction en problèmes simples dont l'explication ou la résolution peut être opérée de façon indépendante et successive.

À partir de la seconde moitié du XIXe siècle, la découverte d'au moins trois classes de phénomènes désordonnés à différents niveaux d'organisation (le principe d'entropie en thermodynamique, la description de phénomènes de discontinuité en physique quantique, et la découverte de phénomènes stellaires révélant la nature explosive et catastrophique des phénomènes cosmologiques) contribue à remettre en question la légitimité d'une épistémologie de type cartésien. Avec la remise en question du paradigme de la mécanique rationnelle (privilégiant l'étude d'un objet à partir de sa structure considérée comme permanente, correspondant à la rationalité cartésienne et au positivisme comtien), émerge le paradigme de la mécanique statistique (ou paradigme évolutionniste) (Le Moigne, 1977/1984). Ce second paradigme scientifique, identifié par Weaver comme ayant à faire face à des problèmes de « complexité désorganisée » *(disorganized complexity)* contribua à identifier le désordre comme composante fondamentale des phénomènes naturels.

En dépit de son importante contribution, Weaver observa néanmoins que le cadre proposé par cette nouvelle conception scientifique ne permettait pas de résoudre certaines questions auxquelles était toujours confronté le champ scientifique. Considérant les problèmes contemporains soulevés par la biologie, la médecine, la psychologie, l'économie ou les sciences politiques, comme étant trop compliqués pour être interprétés à partir des modèles de la mécanique rationnelle, et pas suffisamment désordonnés pour être appréhendés à partir de la mécanique statistique, Weaver

proposa de les identifier en tant que problèmes de « complexité organisée » *(organized complexity)*, regroupant derrière cette expression : « *Tous les problèmes qui impliquent de faire face simultanément* à un nombre important de facteurs interrelationnés au sein d'un tout organique [souligné par l'auteur]. » (Traduction libre de Weaver, 1948, *Problems of Organized Complexity*, paragraphe 3).

La distinction opérée par Weaver permet aujourd'hui de situer l'origine de certains des enjeux liés au développement des « Sciences de la complexité », à savoir un corpus de recherches à la fois original et diffus qui s'est développé tout au long du XXe siècle. De 1940 à nos jours, on peut en effet distinguer en s'inspirant des écrits de Simon (1996) et de Le Moigne (2001a, 2001b, 2004), trois générations de sciences ayant contribué, au cours de la seconde moitié du XXe siècle, à l'essor de théories cherchant à rendre compte de phénomènes perçus comme complexes. Leur émergence a conduit à un changement progressif allant de l'étude d'une « complexité organisée » aux enjeux inhérents à une « complexité organisante » (Le Moigne, 1996) contribuant à réintroduire les incertitudes fondamentales du chercheur, telles que Bachelard les envisageait déjà dans les années 1930.

Première génération de théories de la complexité

Les réflexions développées par Weaver en 1948 l'amenèrent à reconnaître la valeur de deux courants scientifiques apparus au cours de la Seconde Guerre mondiale : les études associées à la conception de calculateurs électroniques et la recherche au sein d'équipes mixtes *(mixed-team)* connue sous le nom d'analyse opérationnelle *(operations analysis)*. À l'origine de ces deux courants se situent une série d'approches émergeantes : les théories de l'information et de la communication *(information and communication theories)*, les théories des automates *(automata theories)*, la cybernétique *(cybernetics)* et l'analyse opérationnelle.

Théorie mathématique de la communication

Les théories de l'information et de la communication ont émergé avec la théorie mathématique de la communication formulée en 1947 par Shannon (Shannon & Weaver, 1963). Ayant à résoudre des problèmes pratiques associés au développement de standards téléphoniques et prenant appui sur ses travaux antérieurs en cryptographie, Shannon développa une théorie de la communication reposant sur l'idée selon laquelle l'information (définie comme *« binary digit »* ou *« bit »*) pourrait être observée et mesurée statistiquement. Prenant appui sur les notions de « bruit » et de « redondance », cette conception permettait d'évaluer l'efficacité de transferts d'information en prenant en considération les formes de désordres affectant les canaux de communication. Les théories de l'information et de la communication contribuèrent ainsi à rendre compte de phénomènes de complexité organisée en les décrivant à partir de la réduction d'entropie (désordre) observée lorsqu'un système, vivant ou artificiel, absorbe de l'énergie externe et la convertit en organisation ou en structure (ordre).

Théories des automates et des réseaux de neurones

Fondée sur les travaux développés en logique formelle et symbolique, et sur les recherches conduites par Turing au cours des années 1930, la théorie des automates est à l'origine d'un corpus

de principes physiques et logiques rendant compte des opérations caractéristiques de dispositifs électromécaniques traitant de l'information en fonction d'une procédure définie. Les automates apparaissent ainsi dirigés par des opérations dont les principes peuvent être perçus comme une séquence d'états pouvant être considérés de façon abstraite comme une série d'entrées (inputs), de sorties (outputs) et de règles d'opérations (Nelson, 1967). Enrichie par les travaux de McCulloch et Pitts (1943) sur les réseaux de neurones *(neural networks)* et ceux de Von Neumann sur l'auto-production *(self-reproduction)* (voir *infra*), la théorie des automates contribua au développement d'une nouvelle perception de la complexité organisée. Fondés sur leurs recherches en neurophysiologie, les travaux de McCulloch et Pitts contribuèrent ainsi à l'élaboration d'une description mathématique de certaines caractéristiques du système nerveux. Le concept de réseau de neurones *(neural network)* formule ainsi l'hypothèse d'une configuration géométrique constituée par un grand nombre de « neurones formels », opérant en parallèle des opérations de base. Permettant de rendre compte des opérations réalisées par un automate, le concept de réseau de neurones offrit par là-même un outil conceptuel puissant pour représenter une ontologie possible de la complexité organisée.

Cybernétique

Émergeant en 1941 à partir de recherches conduites par l'armée américaine sur les processus de guidage de l'artillerie anti-aérienne, la cybernétique (du grec *kubernetes* : l'art de la gouverne) désigne depuis 1948 un champ relativement vaste de recherches touchant au *« contrôle et à la communication chez l'animal et la machine »* (Wiener 1948/1961, traduction libre). Ancrée dans le développement des théories de l'information et de la communication, la cybernétique contribua à la définition du concept de *« feedback »* pour décrire la façon dont un système peut suivre une finalité pré-définie, en s'adaptant à son environnement. Liant la notion de feedback au concept d'information, tout juste théorisée par Shannon, la cybernétique participa au développement d'un référentiel permettant de représenter les processus à travers lesquels l'information est assimilée et utilisée par un organisme pour orienter et contrôler ses propres actions. Suivant la tradition comportementaliste *(behaviourist)*, la cybernétique contribua à ancrer la compréhension de phénomènes de complexité organisée dans l'étude des systèmes, conçus dans une perspective téléologique (délaissant ainsi la recherche et l'identification des causes produisant des effets observés). À partir de 1949, une série de dix conférences successives, connues sous le nom de « Conférences Macy », fut initiée par H. Von Foerster, N. Wiener, J. Von Neumann, L. Savage, W. McCulloch, G. Bateson, M. Mead et K. Lewin. En dépit de l'absence d'approfondissement d'une base épistémologique, ces rencontres contribuèrent néanmoins à légitimer l'idée de complexité en l'étayant à partir d'un fondement pragmatique solide (Le Moigne, 1996, 2001a).

Analyses des opérations et Recherche opérationnelle

Le développement d'équipes pluri-disciplinaires *(mixed teams approaches)*, aussi connues sous le nom de « groupes d'analyse opérationnelle » *(operations analysis groups)* fut inauguré pendant la Seconde Guerre Mondiale par les Britanniques pour faire face à des problèmes tactiques et stratégiques. Une approche analogue fut développée par la Navy et par les forces aériennes américaines :

> Malgré le fait que la présence de mathématiciens, de physiciens et d'ingénieurs était essentielle,

> les meilleurs groupes comprenaient également des physiologistes, des biochimistes, des psychologues, et un ensemble de représentants d'autres champs de recherche associés à la biochimie et aux sciences sociales. […] Sous la pression de la guerre, ces équipes mixtes partagèrent leurs ressources et centrèrent leurs différentes contributions *[insights]* sur des problèmes communs. […] Il apparut que de tels groupes étaient en mesure de gérer des problèmes de complexité organisée en obtenant des réponses utiles. » (Weaver, 1948, *Problems of Organized Complexity*, paragraphe 14, traduction libre).

Progressivement institutionnalisée à la fin de la Guerre en tant que « Recherche opérationnelle » *(Operational Research)*, cette mouvance contribua à l'émergence d'un champ d'étude spécifique, centré sur le développement d'algorithmes permettant de faire face à des processus de décision multidimensionnels impliquant de l'incertitude. Suivant cette perspective, des problèmes de complexité organisée, impliquant des centaines ou des milliers de variables, étaient transformés et réduits en formules mathématiques linéaires pouvant être gérées par des ordinateurs (Beer, 1959 ; Churchmann, Ackoff & Arnoff, 1957).

Deuxième génération de théories de la complexité

Les défis soulevés par la Seconde Guerre mondiale accélérèrent l'émergence et l'institutionnalisation d'un premier corpus de recherches éclairant le concept de complexité. Au début des années 1960, cette notion fut introduite pour la première fois dans une revue américaine significative en épistémologie (Simon, 1962). Au cours des décennies suivantes, le développement économique de grandes compagnies, les progrès technologiques, et le contexte de la Guerre Froide contribuèrent à développer un environnement socio-culturel qui favorisa l'émergence rapide de nouvelles théories revisitant l'idée de complexité.

Sciences de la computation et Sciences de l'ingénieur

Dès les années 1950, les Sciences de l'ingénieur et les Sciences de la computation *(computer sciences)*, confrontées aux difficultés posées par la conception et la maîtrise de grands systèmes perçus comme complexes (tels que l'extension de réseaux téléphoniques ou le développement de compagnies d'assurance) développèrent des modèles de la complexité dont l'impact fut accentué par une série de progrès technologiques successifs. S'inscrivant dans la prolongation des innovations introduites au cours de la décennie précédente, et profitant du développement de nouvelles générations de calculateurs, différents modèles mathématiques furent ainsi développés (Ashby, 1956 ; Marcus, 1977) conduisant à la formulation de la notion de « complexité algorithmique » *(algorithmic complexity)* (Knuth, 1968). Les perspectives ouvertes par ces travaux contribuèrent à renforcer une compréhension de la complexité fondée sur une évaluation quantitative considérant par exemple : la longueur des formules devant être produites pour restituer une description adéquate d'un système (complexité descriptive) ; la longueur des séries d'instructions devant être données pour disposer d'une formule permettant de reproduire un système (complexité générative) ; ou encore la somme de temps et d'effort impliquée dans la résolution d'un problème (complexité computationnelle) (Rescher, 1998). Permettant de comparer le degré de complexité de systèmes variés, à partir d'une mesure mathématique, ces approches participèrent à la production de définitions instrumentales de la complexité. Elles contribuèrent néanmoins à faire l'impasse sur les questions posées par la légitimité épistémologique associée à cette notion (Le Moigne, 2001a).

Sciences de la gestion et Intelligence Artificielle

En parallèle de ces développements, enchevêtrée avec l'institutionnalisation de la Recherche Opérationnelle et les développements de la cybernétique dans le champ de la gestion (Beer, 1959/1970), l'étude des problèmes de complexité organisée s'enracinèrent dans l'émergence des sciences des processus de décision opérationnelle. Incorporant la contribution de la théorie des jeux formulée par Von Neumann et Morgenstern, les travaux de Simon sur les processus de prise de décision *(decision-making processes)* au sein d'organisations administratives (Simon, 1947) et sur la résolution de problèmes heuristiques *(heuristic problem solving)* (Simon & Newell, 1958) contribua à l'émergence progressive d'un corpus de recherche autonome : l'Intelligence Artificielle *(Artificial Intelligence ou AI)*. Située à la frontière entre Sciences économiques, Sciences de la computation, psychologie et logique, l'Intelligence Artificielle apparaissait fondée sur des méthodes heuristiques de recherche (recherches sélectives par essai-erreur). Ses développements permettaient de disposer de représentations approximatives de situations réelles, plus précises que celles calculées à partir des algorithmes de la Recherche Opérationnelle. Étant en mesure de faire face à n'importe quelle situation susceptible d'être représentée symboliquement (verbalement, mathématiquement ou à partir de diagrammes), l'Intelligence Artificielle permit d'étendre le recours aux calculateurs à des problèmes plus complexes et moins structurés, incluant des formes plus élaborées de raisonnement, réservées jusque-là au jugement humain (Simon, 1996). Au-delà de ces progrès, le développement de l'Intelligence Artificielle participa également à l'émergence d'une réflexion de nature épistémologique sur la légitimité de ses racines disciplinaires. Motivé par le désir de définir la spécificité des Sciences de l'ingénieur et privilégiant les Sciences de la conception *(sciences of design)*, par opposition aux approches analytiques traditionnelles, Simon contribua alors à initier, parmi d'autres, ce qui peut désormais être interprété comme une épistémologie constructiviste de la complexité (Le Moigne, 2001a).

Sciences des systèmes

Alors que la métaphore du système fut abondamment utilisée au XVIIIe siècle, puis vivement critiquée au XIXe, la notion réapparut progressivement au XXe siècle à travers les apports des nouvelles disciplines émergeant avec la cybernétique dans les années 1940. En 1945, Von Bertalanffy développa l'idée selon laquelle n'importe quel ensemble organisé devrait pouvoir être décrit et, dans une certaine mesure, explicable à travers le recours aux mêmes catégories, voire au même appareil conceptuel. Sa « Théorie Générale des Systèmes » (Von Bertalanffy, 1951) et les contributions initiales de Boulding, Gerard et Rapoport, amorcèrent au cours des années 1950 un mouvement qui tenta d'identifier les structures et les mécanismes invariants propres à différents types d'ensembles organisés (Schwaninger, 2005). Au cours des décennies suivantes, cette mouvance contribua à l'élaboration et l'implémentation de dispositifs méthodologiques visant à représenter des phénomènes de complexité organisée, permettant à la fois d'anticiper leurs comportements et les conséquences d'interventions intentionnelles à leur encontre. Depuis les années 1970, l'influence des théories des systèmes suivit deux voies distinctes, antagonistes sur le plan épistémologique. La première, caractéristique par exemple des travaux de Forrester (1961) sur la dynamique des systèmes *(system dynamics)* ou ceux de Churchman (1968) sur l'approche système *(system approach)* privilégie l'émergence de techniques réduisant la complexité d'un système à l'étude de ses composantes et de leurs relations, conçus en tant que phénomènes objectifs. Influencée par les contributions de Piaget, Bateson, Simon, Von Foerster et Morin, une seconde tradition privilégia une définition des systèmes complexes reconnaissant la nature constructiviste inhérente à leur conception. Une telle perspective contribua à promouvoir une compréhension de la

complexité reconnaissant le rôle de la relation liant l'observateur au phénomène qu'il cherche à décrire (Le Moigne, 2001a).

Théories de l'auto-organisation

Utilisé dans les années 1930 par Von Bertalanffy pour désigner la caractéristique centrale du développement des organismes, ainsi que par les psychologues de la forme *(Gestalt)* pour décrire la façon dont les hommes traitent leur expérience (Fox Keller, 2004), le concept d'auto-organisation *(self-organization)* bénéficia d'une attention accrue au début des années 1950. Sa définition fut ainsi renouvelée à partir des contributions issues de plusieurs théories : les travaux de Von Neumann (1966) sur les automates auto-reproducteurs *(self-reproducing automata)* (développant l'idée d'une machine artificielle capable de se reproduire elle-même) ; les recherches de Ashby (1956) sur la variété cybernétique *(cybernetic variety)* (décrivant les correspondances entre les comportements d'un système et la configuration des relations entre ses composantes) ; l'invention par Rosenblatt (1958) du « Perceptron » (un dispositif dont les connexions – du type neuronal – devaient permettre de percevoir, reconnaître et identifier son entourage sans intervention ou contrôle humains) ; et finalement les apports de Von Foerster (1960, 1996) sur les « systèmes non-triviaux » *(non-trivial systems)* (rendant compte d'organisations autonomes, en tant que systèmes dont les *inputs* ne sont pas totalement dépendants des feedbacks produits par les *outputs*). Ces travaux contribuèrent à changer l'orientation des recherche en cybernétique (on parlera par la suite de cybernétique de « second ordre »). À partir de cette époque, les organisations complexes sont désormais conçues comme des systèmes autonomes dont l'évolution est à la fois fonction de leur environnement et des relations entre leurs propres composantes. Enrichie par les recherches d'Atlan (1972/2006), cette conception renouvelée de l'auto-organisation amena à redéfinir les phénomènes de complexité organisée en tant qu'« émergences » produites non seulement par l'ordre qui les constituent, mais aussi à partir du désordre (bruit ou fluctuation) qui caractérisent les relations propres à leurs composantes internes.

Étude des dynamiques non-linéaires : structures dissipatives, catastrophe, chaos et théorie des fractales

À la même période, les progrès marquant la compréhension de phénomènes auto-organisés eurent des conséquences majeures sur l'étude des dynamiques non-linéaires. En 1969, la découverte des « structures dissipatives », réalisée par Prigogine, marqua un changement en thermodynamique conduisant à revisiter la notion d'entropie. Son équipe démontra en effet la possibilité qu'un processus irréversible (dissipation d'énergie), loin d'un état d'équilibre, puisse jouer un rôle constructif et constituer une source d'ordre. La description des structures dissipatives permit d'envisager la façon dont des désordres moléculaires régressent pour atteindre une zone d'équilibre et dans quelles circonstances des fluctuations peuvent s'amplifier d'elles-mêmes (bifurcation) pour conduire un système à un nouvel état caractérisé par une stabilité spécifique (Prigogine & Stengers, 1984). Permettant de catégoriser les dynamiques de systèmes non-linéaires en fonction de leur comportement, la théorie des catastrophes élaborée par Thom (1975) contribua de son côté à la compréhension des relations entre les états stationnaires, les changements et les ruptures caractérisant les transformations de phénomènes physiques réguliers en manifestations discontinues et singulières. Émergeant au début des années 1970, la théorie du chaos permit quant à elle de rendre compte du comportement de systèmes déterministes, au sens mathématique, dont la sensibilité aux conditions initiales d'émergence contribue à les faire évoluer de façon imprévisible, de façon telle qu'ils ne peuvent être distingués de processus aléatoires (Gleick, 1987). Finalement, le

concept de « fractale », introduit en 1975 par Mandelbrot (1983), réfère aux caractéristiques géométriques propres à des phénomènes naturels similaires à eux-mêmes d'un point de vue statistique (l'agrandissement d'une fraction d'un échantillon correspondant de façon très proche à une partie de l'ensemble, considérée à une échelle différente) ; une telle théorie permettant de percevoir un ordre géométrique au sein de phénomènes apparemment désordonnés. A travers ces différents développements, l'étude des dynamiques non-linéaires renouvela de façon drastique les relations entre fluctuation et stabilité, linéarité et non-linéarité, ou encore processus aléatoires et non-aléatoires. Ce faisant, elle contribua à développer un référentiel théorique permettant de concevoir la complexité de phénomènes morphogénétique (Dahan Dalmedico, 2004 ; Morin, 1977/1980).

Biologie évolutionnaire

Au cours des années 1960, les progrès technologiques et les développements associés à la cybernétique et aux théories de l'auto-organisation contribuèrent à remettre profondément en question les conceptions biologiques traditionnelles. D'un côté, avec la découverte de l'ADN, de nouvelles hypothèses furent formulées pour rendre compte de l'émergence de la vie, en tant que phénomène prédictible, bien qu'improbable, apparaissant comme la conséquence de lois physiques et chimiques caractérisée par la présence de désordre (Monod, 1972). On commença ainsi à revisiter les conceptions de l'évolution de la vie à partir de modèles statistiques (Dawkins, 1989) mettant en évidence leur nature chaotique (Gould & Eldredge, 1977). D'un autre côté, des théories originales furent élaborées de façon à relier le développement de la vie et l'émergence de phénomènes de cognition : parmi elles, les apports de Bateson (1973) ou le travail de Maturana et Varela (1992), ancré dans les recherches initiales de Maturana sur l'*autopoïesis* (décrivant une organisation perçue comme unité autonome et auto-entretenue, constituée par des processus producteurs de leurs propres composantes). Autorisant l'élaboration de nouvelles représentations autour de notions telles que celles d'« adaptation », d'« évolution », de « soi » *(self)*, d'« autonomie », ou d'« émergence », ces recherches participèrent à un mouvement plus général positionnant l'étude de l'évolution de la vie au centre des futurs développements informant la compréhension de phénomènes reconnus comme complexes.

Troisième génération de théories de la complexité

Au cours des années 1980, l'émergence de contributions originales associées à la notion de complexité a suivi au moins deux voies distinctes. La première, particulièrement forte dans le champ anglo-saxon à travers l'étude des « systèmes adaptatifs complexes » *(Complex Adaptive Systems ou CAS)*, se situe à la frontière entre les développements les plus récents dans l'étude de dynamiques non-linéaires, les théories contemporaines en biologie évolutionnaire et les recherches en Sciences de l'artificiel. Une seconde voie s'est développée principalement dans des pays latins, en Europe et en Amérique. Plus réflexive que la première, elle se caractérise par l'exploration de nouvelles façons de représenter des complexités multiples, notamment en mettant l'accent sur la nécessité de promouvoir et de développer une épistémologie motivée par le désir des scientifiques de déterminer, de concevoir et de construire les règles de leurs propres actions, en particulier sur le plan éthique.

Systèmes Adaptatifs Complexes

La notion de « systèmes adaptatifs complexes » *(Complex Adaptive Systems ou CAS)* a émergé avec

la création, au début des années 1980, du Santa Fe Institute au Nouveau Mexique dont le projet peut être décrit en ces termes :

> Mettant l'accent sur les collaborations multidisciplinaires dans la poursuite de la compréhension de thèmes communs caractéristiques de systèmes naturels, artificiels et sociaux, cette entreprise scientifique unique cherche à découvrir les mécanismes sous-jacents à la profonde simplicité présente dans notre monde complexe (Santa Fe Institute, 2005, traduction libre).

La notion de systèmes adaptatifs complexes renvoient ainsi à différentes théories : les travaux de Holland (1992) sur les « algorithmes génétiques » *(genetic algorithm)* (une tentative de modéliser des phénomènes de variation, de combinaison et de sélection sous-jacents à la plupart des processus évolutifs et d'adaptation) ; les recherches de Kaufmann (1993) sur les « réseaux booléens » « (boolean networks) » (fondés sur l'étude des propriétés liées aux réseaux de gênes ou de réactions chimiques dans une perspective évolutionnaire et auto-organisationnelle) ; les recherches de Bak (Bak & Chen, 1991) sur la « criticalité auto-organisée » *(self-organized criticality)* (visant à décrire l'évolution de phénomènes physiques ou vivants vers des états critiques situés à la frontière entre stabilité et chaos) ; le travail de Wolfram (2001) sur les « automates cellulaires » *(cellular automata)* (utilisant des modèles mathématiques et des simulations informatiques pour décrire l'évolution de phénomènes chaotiques). Comme l'illustrent les travaux initiés par Langton (1989) sur la « Vie Artificielle » *(Artificial Life ou ALife)* (logiciels et machines créés pour reproduire des comportements similaires à ceux caractérisant des systèmes naturels ou vivants), l'étude des systèmes adaptatifs complexes a contribué à renforcer une logique ascendante de recherche. En cherchant à modéliser et à simuler des comportements présentant des analogies avec des phénomènes organiques, écologiques ou sociaux de nature complexe (Helmreich, 2004 ; Heylighen, 1997), ce courant de recherche a renforcé une compréhension de la complexité exigeant des chercheurs de créer et d'organiser les règles à partir desquelles la concevoir, plutôt que de chercher à essayer de les déduire d'observations basées sur des phénomènes réels.

Intelligence de la complexité

En dépit d'une riche prolifération de théories, le développement de réflexions épistémologiques autour du concept de complexité est relativement récent. Entre 1945 et 1975, le statut et la légitimité épistémologiques des sciences constituées en référence au paradigme de la complexité organisée ont été très rarement interrogés ; le terme de *complexité* étant lui même peu utilisé (Le Moigne, 1996). La publication à la fin des années 1970 de plusieurs livres, considérés aujourd'hui comme des classiques, a contribué à redonner un nouveau souffle aux recherches conceptuelles et épistémologiques liées à la notion de complexité (p. ex. Université des Nations Unies, 1986). En France, la démarche adoptée par Morin se situe au cœur de ces contributions [2]. Apparaissant au cours des années 1960 dans ses travaux en anthropologie de la connaissance (Morin, 1973, 1977/1980, 1980, 1986, 1991), l'approche développée par Morin implique une réorganisation des diverses conceptions de la complexité ayant émergé depuis les années 1940. Formulant une critique épistémologique significative de certaines interprétations étroites associées à ces contributions, et proposant d'aller au-delà des dualismes traditionnels (positivisme et réalisme *versus* constructivisme ; postures cartésienne *versus* non-cartésienne, etc.), il proposa également de s'inspirer de ces apports pour repenser les limites inhérentes aux processus contemporains de production de connaissances. Située à la frontière ente philosophie, physique, biologie et sciences anthropo-sociales, sa réflexion contribua à créer une boucle épistémique associant l'émergence de

connaissances organisées (sciences) et la création de connaissances organisantes (Le Moigne, 1996). À travers son paradigme de l'auto-éco-ré-organisation, Morin développa une critique des sciences et des philosophies contemporaines, dénonçant leur fragmentation épistémologique et institutionnelle. Défendant l'émergence d'une nouvelle forme de recherche scientifique privilégiant un processus en-cyclo-pédique (mettant littéralement en cycle la connaissance, plutôt que de l'accumuler), il élabora une approche visant à relier les uns aux autres des champs scientifiques fragmentés. Basé sur un réseau ouvert de concepts et de principes de pensée, Morin propose une conception de la complexité prenant en considération les antagonismes, les contradictions et les complémentarités qui façonnent sa propre compréhension. Conscient de son propre ancrage biologique, physique et anthropologique, une pensée complexe implique la prise en considération de ce qui constitue à la fois la complexité de notre identité humaine (Morin, 2001) et celle des enjeux éthiques impliqués par une conception de la science reconnaissant ses propres incertitudes (Morin, 1973, 2004). Réinterprétant la nature épistémologique et politique des théories de la complexité, la démarche de Morin contribue désormais à légitimer plusieurs courants de recherche partageant un même engagement éthique en regard de la construction de nouveaux modèles de production de connaissances (p. ex. le Programme Européen MCX « Modélisation de la complexité », 2005).

Préserver la complexité de ce qui est complexe

D'un côté, la généalogie proposée précédemment peut conduire à penser que le développement des théories associées aujourd'hui à la notion de complexité a suivi un cours linéaire, représentatif de l'ordre qui les constituerait. D'un autre côté, l'hétérogénéité des significations et la multiplicité des définitions, courants et champs d'études dans lesquels elles s'enracinent éclairent le désordre qui a façonné leur évolution. Afin d'identifier les apports associés à la notion de complexité, il apparaît désormais nécessaire de se positionner face à une telle ambiguïté. Pour ce faire, il semble important de considérer les variations épistémologiques sous-jacentes aux théories de la complexité et certaines des ambivalences dont elles sont porteuses, d'un point de vue socio-culturel.

Variations épistémologiques

D'un point de vue épistémologique, l'ambiguïté associée au développement des théories de la complexité est liée au fait qu'historiquement elles ont évolué dans un espace de représentations constitué simultanément par des positions à la fois antagonistes, contradictoires et complémentaires.

D'un côté, la complexité peut être considérée comme une dimension ontologique de l'objet d'étude, pouvant être réduite à des caractéristiques spécifiques, et représentée globalement à l'aide d'une série d'expressions algébriques. Ses états et ses comportements pourraient ainsi être décrits et calculés avec certitude, suivant une processus de calcul maîtrisé. Dans une telle perspective, l'évolution de ce type de système peut être prédite avec plus ou moins de précision à partir d'algorithmes programmables. Les possibles sont ainsi considérés comme connaissables ; les comportements observés sont considérés quant à eux comme explicables, et dès lors, prévisibles à partir d'une théorie, d'une règle ou d'une structure invariante. Si la capacité de calcul de l'observateur peut, dans la pratique, limiter de telles prédictions, le développement d'ordinateurs plus perfectionnés autorise les défenseurs d'une telle conception à croire dans le potentiel élevé de cette posture (Le Moigne, 1996). Historiquement, une telle conception se situe au cœur du développement d'une compréhension de la complexité organisée, telle que Weaver la prédisait. Aujourd'hui, elle est sous-jacente à différents courants de recherche, reconnus par certains comme

« réductionnistes » ou rendant compte d'une « complexité restreinte », dont les limites les conduisent à être généralement associés aux notions de « complication » ou d'« hyper-complication » (Ardoino, 2000 ; Morin, 1977/1980 ; Le Moigne, 1996, 2001a ; Lissack, 2001).

D'un autre côté, avec la diffusion depuis les années 1970 de nombreux ouvrages introduisant les théories liées à la notion de complexité auprès d'un public élargi, une position plus *soft* a émergé. Considérant les concepts associés à la complexité comme des métaphores puissantes permettant de décrire ou de comprendre des phénomènes socio-culturels, cette littérature a contribué à répandre un vocabulaire original alimentant de nouvelles interprétations de la réalité. Reconnaissant à la fois les particularités et les similarités caractérisant différents niveaux d'organisation (physique, biologique, social, etc.), une telle posture contribua au développement d'analogies cherchant à les relier les uns aux autres. En raison de l'absence d'une réflexion sur la validité des cadres autorisant de tels rapprochements, leur légitimité épistémologique demeure la plupart du temps infondée, conduisant certains auteurs à les qualifier de « pseudo-scientifiques » (Le Moigne, 2001a ; Phelan, 2001).

Parallèlement à ces deux postures, une troisième position peut être identifiée. Par contraste avec l'hyper-complication, une telle approche suggère que la complexité est associée à des situations où l'observateur est conscient de l'impossibilité de définir une liste des états potentiels d'un système donné, ou des façons de les programmer. Elle invite à considérer la complexité non plus comme un objet d'explication ou de prédiction. Conçue comme une interprétation, la complexité représente dès lors une caractéristique attribuée par l'observateur aux phénomènes qu'il étudie. Elle constitue avant tout un élément clé d'un système de représentations construit par le chercheur, et non pas nécessairement une caractéristique ontologique de son objet d'étude (Le Moigne, 1996). Par contraste avec une approche pseudo-scientifique, une position constructiviste implique de questionner de façon systématique le processus d'élaboration qui fonde les systèmes de représentations créés ou manipulés. Sa légitimité suppose à la fois le recours à une méthodologie permettant de réfléchir sur la façon d'élaborer de tels systèmes, et en même temps une compréhension des modalités en fonction desquelles les représentations élaborées affectent la phénoménologie de la « réalité » étudiée (Le Moigne, 1977/1984, 2001a, 2001b, 2003).

Les positions qui viennent d'être décrites sont naturellement prototypiques. Elles invitent à considérer au moins trois enjeux influençant la façon de se positionner face à l'idée de complexité. Le premier renvoie au degré de fermeture (ou d'ouverture) attribué à la définition de ce qui est complexe. D'un côté, si elle renvoie à une série de caractéristiques identifiées et pré-définies, la complexité se retrouve réduite à de l'(hyper-)complication. De l'autre, si elle incorpore une liste de caractéristiques ouverte à l'infini, sa définition perd toute spécificité. Entre ces deux extrêmes, la définition de cette notion implique un processus de négociation des significations qui s'y rattachent, ajoutant ce faisant un degré supplémentaire d'ambiguïté. Un deuxième enjeu touche au type de représentation privilégié pour décrire ce qui est complexe. Le succès contemporain de cette notion apparaît ainsi inhérent à la fois au pouvoir des métaphores et à l'efficacité des algorithmes qu'on lui associe. Pour être représenté et discuté, ce qui est complexe implique des traductions entre des langages symboliques, formels et informels. De telles interprétations ajoutent nécessairement un degré d'incertitude supplémentaire à l'usage de cette notion. Finalement, une compréhension scientifique de la complexité implique un processus réflexif permettant de remettre en question les postulats fondant son interprétation. Parce qu'un tel processus peut être à la fois considéré comme indépendant de la phénoménologie de l'objet d'étude ou comme un facteur déterminant la perception de ce qui est complexe, une telle exigence de réflexivité induit finalement en soi une

source supplémentaire d'ambiguïté.

Ambivalences socio-culturelles

A côté ou en raison de leur ambivalence épistémologique, les théories liées à la notion de complexité apparaissent également fondamentalement ambivalentes d'un point de vue socio-culturel. D'un côté, les théories de la complexité possèdent en effet un potentiel émancipateur prononcé en regard de référentiels antérieurs à leur émergence. Des concepts tels que ceux de « contrôle », d'« autonomie », d'« organisation » ou de « soi » *(self)* sont susceptibles d'être revisités à partir de ces contributions. Il est ainsi envisageable d'enrichir nos représentations de processus considérés comme « aliénants » ou « émancipateurs », en tant que processus complexes. Ce faisant, ces théories sont susceptibles d'amener à reconsidérer le sens d'une critique sociale ou philosophique (Alhadeff, 2003, 2004 ; Alhadeff-Jones, 2007b ; Geyer, 1980 ; Morin, 1977/1980, 1980, 1986). Le développement des théories de la complexité apparaît également associé à l'émergence de nouvelles formes de logiques (Morin, 1991) et de nouveaux rapports au savoir (Fabbri & Munari, 1984/1993) contribuant à la promotion de représentations non-dualistes, non-hiérarchiques et non-linéaires susceptibles de favoriser la reformulation d'enjeux de société contemporains. Sous l'angle du développement scientifique, les différents courants initiés au cours du XXe siècle, autour du corpus de recherches décrit dans cet article, invitent à reconsidérer la pluralité des (anciennes et nouvelles) disciplines académiques, remettant en question la façon de définir leur légitimité épistémologique (Le Moigne, 2001b, Morin, 1999). De la multiréférentialité (Ardoino, 1993) à la transdisciplinarité (Nicolescu, 1996, 2005 ; Paul & Pineau, 2005), ces courants contribuent à une critique des modes traditionnels d'organisation de la connaissance. À travers leur contribution, des approches transversales ont émergé, conduisant à renégocier la façon de conjuguer des référentiels hétérogènes de connaissance et de dépasser la fragmentation institutionnelle, sans tomber dans le piège de l'éclectisme ou du relativisme.

D'un autre côté, les théories de la complexité sont également porteuses de nouvelles formes intellectuelles et sociales d'aliénation (Lafontaine, 2004). A travers l'importance qu'elles donnent au développement technologique et aux concepts et métaphores qu'elles véhiculent, ces théories contribuent à diffuser un système de valeurs, un vocabulaire, et même une idéologie, qui est susceptible de perpétuer des formes de domination (Lafontaine, 2004 ; Morin, 1977/1980, 1980, 1986, 1991 ; Musso, 2003 ; Boltanski & Chiapello, 1999) [3]. En tant que systèmes de pensée, ces contributions peuvent d'une part contribuer à pérenniser la réduction de la compréhension de phénomènes à des séries d'équations mathématiques et à des modèles abstraits. D'autre part, elles peuvent également alimenter le développement d'analogies pseudo-scientifiques fondant l'élaboration de nouvelles théories et pratiques à partir de cadres interprétatifs illégitimes. En regard du développement du champ scientifique, en raison de leur ancrage prononcé en physique, en biologie, dans les Sciences de l'ingénieur ou de la gestion, etc. certains des concepts définissant la compréhension contemporaine de la complexité représentent également un risque de la réduire à une conception limitée du monde, loin d'être socialement et culturellement neutre [4]. Tout comme cela a été le cas aux États-Unis, pendant les années 1980, avec la *French Theory* (Cusset, 2003), les théories de la complexité sont susceptibles de conduire à la fois à un changement épistémique significatif et à la reconfiguration des dynamiques de pouvoir entre champs académiques. Leur développement contemporain devrait dès lors être interprété à la fois comme le résultat de leur contribution sur le plan intellectuel, et comme la conséquence de logiques sociales inhérentes aux reconfigurations disciplinaires constitutives d'un champ scientifique en mutation.

Vers une nouvelle forme de critique ?

Si une hypothèse est susceptible d'émerger de ces différentes observations, c'est bien celle selon laquelle le recours aux théories de la complexité ne constituent pas nécessairement l'origine d'un progrès systématique, général ou linéaire de la recherche scientifique en éducation, en particulier d'un point de vue éthique et social. Parce que la science est constituée de processus complexes (Alhadeff-Jones, 2007a, 2007b, sous presse ; Morin, 1986, 1991), les apports inhérents à l'une ou l'autre de ces contributions ne peuvent être considérés comme acquis. Afin de dépasser l'effet de mode attaché à une « nouvelle » vague de concepts, il apparaît nécessaire de considérer en premier lieu la façon dont elles peuvent nous amener à repenser des théories pédagogiques, en restant conscients à la fois des apports et des limites dont elles sont porteuses. Les considérations critiques inhérentes à l'émergence des théories de la complexité, au même titre que les évaluations critiques de leur légitimité épistémologique et éthique doivent être considérées à partir des boucles et des dynamiques dont elles sont constitutives (Alhadeff, 2005 ; Alhadeff-Jones, 2007b). Le défi qu'elles lancent aux théoriciens de l'éducation est probablement celui d'être capable de travailler simultanément sur : (a) l'apprentissage impliqué par l'élaboration d'une forme de critique capable de faire face à des phénomènes perçus comme complexes ; et (b) l'élaboration d'une critique capable de dialoguer avec un corpus théorique ne correspondant plus aux référentiels épistémiques traditionnels. La complexité apparaît dès lors comme un « mot-problème » et non pas un « mot-solution » (Morin, 1990). En Sciences de l'éducation, elle devrait dès lors nous inviter à considérer les enjeux soulevés par son irréductibilité à des cadres de pensées préexistants, au moins autant que les solutions qu'elle semble apporter en intégrant de tels référentiels. Le recours à la notion de complexité devrait finalement nous inviter à remettre en question autant notre rapport à la science et à la philosophie que notre rapport au monde. Se faisant, un nouveau type d'apprentissage est susceptible d'être renforcé : la capacité des chercheurs et des praticiens en éducation à élaborer des systèmes de représentations leur permettant de confronter de façon plus systématique leur propre transformation, alors même qu'ils cherchent à conceptualiser les transformations qu'ils étudient ou dont ils font la promotion.

Remerciements : Je souhaite ici remercier Jean-Louis Le Moigne pour les ressources qu'il a mises à ma disposition et pour ses conseils relatifs à l'organisation de cet article.

Bibliographie :

Alhadeff, M. (2003, Juin) *Rethinking the Concept of 'Critically Reflective Practice' through the Paradigm of Complexity : Some epistemological, theoretical, and practical issues.* Communication présentée à la 44e conférence annuelle de l'Adult Education Research Conference (San Francisco, San Francisco State University).

Alhadeff, M. (2004) Conjuguer l'Hétérogénéité de la Critique en Sciences de l'Éducation : De l'hypocrit(iqu)e à l'hypercritique, *in* : R. Arce, Farina, F., Novo, M., Egido, A., Ardoino, J., Berger, G. (éd.), *La Pensée Critique en Éducation* (p. 34-46) (Saint-Jacques de Compostelle, Espagne, Université de Saint-Jacques De Compostelle).

Alhadeff, M. (2005) Complexité de la Critique et Critique de la Complexité en Formation, in : J. Clenet & D. Poisson (éd.) *Complexité de la Formation et Formation à la Complexité* (p. 227-241) (Paris, L'Harmattan).

Alhadeff-Jones, M. (2007a, Mai) *Scientific Mind, Critical Mind and Complexity : Learning from a Scientist's Life History*. Communication présentée à la 2e conférence internationale du Learning Development Institute (Vancouver, Canada, Institut Emilie Carr).

Alhadeff-Jones, M. (2007b) *Éducation, critique et complexité : modèle et expérience de conception d'une approche multiréférentielle de la critique en Sciences de l'éducation.* Thèse de Doctorat en Sciences de l'éducation (Paris, Université de Paris 8).

Alhadeff-Jones, M. (sous presse) Promoting scientific dialogue as a lifelong learningprocess, in : F. Darbellay, M. Cockell, J. Billote & F. Waldvogel (eds), *World Knowledge Dialogue* (Lausanne : Presses de l'Institut Polytechnique Fédéral).

Ardoino, J. (1963/1999) *Éducation et Politique* (Paris, Anthropos).

Ardoino, J. (1998, Septembre) *Éducation et Politique aux Regards de la Pensée Complexe.* Communication présentée à la conférence internationale de l'AFIRSE, (Lisbonne, Portugal, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'éducation, Université de Lisbonne).

Ardoino, J. (1993) L'Approche Multiréférentielle (Plurielle) des Situations Éducatives et Formatives. *Pratiques de Formation / Analyses*, 25-26, p.15-34.

Ardoino, J. (2000) *Les Avatars de l'Éducation* (Paris, Presses Universitaires de France).

Ardoino, J., & De Peretti, A. (1998) *Penser l'Hétérogène* (Paris, Desclée de Brouwer).

Ashby, W.R. (1956) *An Introduction to Cybernetics* (London, Chapman & Hall).

Atlan, H. (1972/2006) *L'Organisation Biologique et la Théorie de l'Information* (Paris, Hermann).

Bachelard, G. (1934/2003) *Le Nouvel Esprit Scientifique* (Paris, Presses Universitaires de France).

Bak, P., & Chen, K. (1991, January) *Self-Organized Criticality,Scientific American*, 46-53. Disponible sur RHUTHMOS ici

Bateson, G. (1973) *Steps to an Ecology of Mind* (London, Paladin).

Beer, S. (1959) What has Cybernetics to do with Operational Research ?, *Operational Research Quarterly*, 10, 1-21.

Beer, S. (1959/1970) *Cybernetics and Management* (London, English University Press).

Benkirane, R. (ed.) (2002) *La Complexité, Vertiges et Promesses. 18 histoires de sciences* (Paris, Le Pommier).

Boltanski, L., & Chiapello, E. (1999) *Le Nouvel Esprit du Capitalisme* (Paris, Gallimard).

Churchman, C. W. (1968) *The Systems Approach* (New York, Dell).

Churchman, C. W., Ackoff, R.L. & Arnoff, E.L. (1957) *Introduction to Operations Research* (New York, Wiley).

Cusset, F. (2003) *French Theory. Foucault, Derrida, Deleuze et Cie et les Mutations de la Vie Intellectuelle aux États-Unis* (Paris, La Découverte).

Dahan Dalmedico, A. (2004) Chaos, Disorder, and Mixing : A new fin-de-siècle image of science ?, in : M. Norton (ed.) *Growing Explanations : Historical perspectives on recent science* (pp. 67-94) (London, Duke University Press).

Dawkins, R. (1989) *The Selfish Gene* (2nd ed.)(Oxford, Oxford UniversityPress).

Fabbri, D., & Munari, A. (1984/1993) *Stratégies du Savoir. Vers une psychologie culturelle* (Genève, Suisse, Université de Genève).

Forrester, J. (1961) *Industrial Dynamics* (Cambridge, MA, MIT Press).

Fox Keller, E. (2004) Marrying the Premodern to the Postmodern : Computers and organisms after World War II, *in* M. N. Wise (ed.) *Growing Explanations. Historical perspectives on recent science* (p. 181-198) (London, Duke University Press).

Geyer, R.F. (1980) *Alienation Theories : A general systems approach* (Oxford, Pergamon Press).

Gleick, J. (1987) *Chaos : Making a new science* (New York, Penguin Books).
Gould, S.J., & Eldredge, N. (1977) Punctuated Equilibria : The tempo and mode of evolution reconsidered, *Paleobiology*, 3, 115-151.

Helmreich, S. (2004) The Word for World is Computer : Simulating second natures in artificial life, *in* : M. N. Wise (ed.) *Growing Explanations. Historical perspectives on recent science* (pp. 275-300) (London, Duke University Press).

Heylighen, F. (1997) *The Evolution of Complexity*. Téléchargé le 20.8.2004 à l'adresse : http://pespmc1.vub.ac.be/Papers/PublicationsComplexity.html

Holland, J.H. (1992) *Adaptation in Natural and Artificial Systems : An introductory analysis with applications to biology, control and artificial intelligence* (Cambridge, MA, MIT Press).

Institut National de la Langue Française (2005) *Le Trésor de la Langue Française Informatisé* [version électronique] (Paris, Centre National de la Recherche Scientifique & Editions Gallimard). Téléchargé le 15.9.2005 à l'adresse : http://atilf.atilf.fr/tlf.htm

Kauffman, S.A. (1993) *The Origins of Order : Self-organization and selection in evolution* (New York, Oxford University Press).

Knuth, D.E. (1968) *The Art of Computer Programming (vol.1) : Fundamental algorithms* (Reading, MA, Addison-Wesley).

Lafontaine, C. (2004) *L'Empire Cybernétique. Des machines à penser à la pensée machine* (Paris, Seuil).

Langton, C.G. (ed.) (1989) *Artificial Life : The proceedings of an interdisciplinary workshop on the synthesis and simulation of living systems* (Redwood City, CA, Addison-Wesley).

Le Moigne, J.-L. (1979/1984) *La Théorie du Système Général. Théorie de la modélisation* (Paris, Presses Universitaires de France).

Le Moigne, J.-L. (1996) Complexité, *in* : D. Lecourt (ed.), *Dictionnaire d'Histoire et Philosophie des Sciences* (p. 205-215) (Paris, Presses Universitaires de France).

Le Moigne, J.-L. (2001a) *Le Constructivisme. Les enracinements (vol. 1)* (Paris, L'Harmattan).

Le Moigne, J.-L. (2001b) *Le Constructivisme. Epistémologie de l'interdisciplinarité (vol. 2)* (Paris, L'Harmattan).

Le Moigne, J.-L. (2003) *Le Constructivisme. Modéliser pour comprendre (vol. 3)* (Paris, L'Harmattan).

Lissack, M. R. (ed.) (2001) *Emergence, a journal of complexity issues in organization and management*, 3:1 (Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Ass).

Mandelbrot, B. (1983) *The Fractal Geometry of Nature* (New York, Freeman).

Marcus, M. (1977) *The Theory of Connecting Networks and their Complexity : A review.* Proceedings of the IEEE, 65 : 9, 1263-1271.

Maturana, H.R., & Varela F.J. (1992) *The Tree of Knowledge : The biological roots of understanding* (Boston, Shambhala).

McCulloch, W.S. & Pitts, W. (1943) A Logical Calculus of the Ideas of Immanent in Nervous Activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 6, 115-133.

Programme Européen MCX "Modélisation de la Complexité" (2005). Homepage. Téléchargée le 20.9.2005 à l'adresse : http://www.mcxapc.org

Monod, J. (1972) *Chance and Necessity* (London, Collins).

Morin, E. (1973) *Le Paradigme Perdu : La nature humaine* (Paris, Seuil).

Morin, E. (1977/1980) *La Méthode (vol.1) La nature de la nature* (Paris, Seuil).

Morin, E. (1980) *La Méthode (vol.2) La vie de la vie* (Paris, Seuil).

Morin, E. (1986) *La Méthode (vol.3) La connaissance de la connaissance* (Paris, Seuil).

Morin, E. (1990) *Introduction à la Pensée Complexe* (Paris, ESF).

Morin, E. (1991) *La Méthode (vol.4) Les idées. Leur habitat, leur vie, leurs mœurs, leur organisation* (Paris, Seuil).

Morin, E. (éd.) (1999) *Relier les Connaissances, le Défi du XXIe siècle* (Paris, Seuil).

Morin, E. (2000) *Les Sept Savoirs Nécessaires à l'Éducation du Futur* (Paris, Seuil).

Morin, E. (2001) *La Méthode (vol.5) L'humanité de l'humanité, l'identité humaine* (Paris, Seuil).

Morin, E. (2004) *La Méthode (vol.6) Ethique* (Paris, Seuil).

Morin, E. (2007) Restricted Complexity, General Complexity, *in* : C. Gershenson, D. Aerts & B. Edmonds (ed.) *Worldviews, Science and Us, Philosophy and Complexity* (pp. 5-29) (London, World Scientific).

Morin, E., & Le Moigne, J.-L. (1999) *L'Intelligence de la complexité* (Paris, L'Harmattan).

Morin, E., Motta, R., & Ciurana, E.-R. (2003) *Eduquer pour l'Ere Planétaire. La pensée complexe comme méthode d'apprentissage dans l'erreur et l'incertitude humaines* (Paris, Balland).

Musso, P. (2003) *Critique des Réseaux* (Paris, Presses Universitaires de France).

Nelson, R.J. (1967) *Introduction to Automata* (New York, Wiley).

Nicolescu, B. (1996) *La Transdisciplinarité. Manifeste* (Monaco, Editions du Rocher).

Nicolescu, B. (2005, September) *Transdisciplinarity - Past, Present and Future*. Paper presented at the Second World Congress of Transdisciplinarity : "What education for sustainable development ? Attitude - research - action" (Vitória,VilaVelha, Brazil).

Paul, P. & Pineau, G. (éd.) (2005) *Transdisciplinarité et Formation* (Paris, L'Harmattan).

Phelan, S. E. (2001) What is Complexity Science, really ?, *Emergence*, 3:1, 120-136.

Prigogine, I. & Stengers, I. (1984) *Order out of Chaos* (New York, Bantam Books).

Rescher, N. (1998) *Complexity. A philosophical overview* (New Brunswick, NJ, Transaction Publishers).

Rey, A. (éd.) (2000) *Le Robert - Dictionnaire historique de la langue française* (Paris).

Rosenblatt, F. (1958) The Perceptron : A probabilistic model *for information storage and organization in the brain,* Psychological Review, 65, 386-408.

Santa Fe Institute (2005) Homepage. Téléchargée le 15.9.2005 à l'adresse : http://www.santafe.edu

Schwaninger, M. (2005) *System Dynamics and the Evolution of Systems Movement. A historicalperspective* (Diskussionsbeiträge des Institus für Betriebswirtschaft, #52) (St-Galle, Suisse, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften).

Shannon, C.E., & Weaver, W. (1963) *The Mathematical Theory of Communication* (5th edn.) (Chicago, University of Illinois Press).

Simon, H.A. (1947) *Administrative Behavior* (New York,MacMillan).

Simon, H.A., & Newell, A. (1958) Heuristic Problem Solving : The next advance in operations research, *Operations Research*, 6, 1-10.

Simon, H.A. (1962) Architecture of Complexity, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, 467-482.

Simon, H. (1996) *The Sciences of the Artificial* (3rd ed.) (Cambridge, MA, MIT Press).

Simpson, J. & al. (ed.) (1989/2005) *Oxford English Dictionary Online* (2nd ed.) [Electronic resource] (Oxford, Oxford University Press).

Thom, R. (1975) *Structural Stability and Morphogenesis* (Reading, MA, Benjamin).

Université des Nations Unies (Dir.) (1986) *Sciences et Pratiques de la Complexité* (Paris, La Documentation Française).

Von Bertalanffy, L. (1951) *General System Theory : A new approach to unity of science* (Baltimore, John Hopkins Press).

Von Foerster, H. (1960) On Self-Organizing Systems and their Environments, *in* : M. C. Yovits & S. Cameron (ed.) *Self-Organizing Systems* (p. 31–50) (London, Pergamon Press).

Von Foerster, H. (1996) *Cybernetics of Cybernetics* (2nd ed.) (Minneapolis, MN, Future Systems).

Von Neumann, J. (1966) *Theory of Self-Reproducing Automata* (Urbana, University of Illinois Press).

Washington Center for Complexity and Public Policy (2003, October) *The Use of Complexity Science. A survey of federal departments and agencies, private foundations, universities and independent education and research centers*. Téléchargé le 20.8.2004 à l'adresse : http://www.complexsys.org

Weaver, W. (1948) Science and Complexity [Electronic version], *American Scientist*, 36:536. Téléchargé le 20.8.2004 à l'adresse : http://www.ceptualinstitute.com

Wiener, N. (1948/1961) *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine* (New York, Wiley & Sons).

Wise, M.N. (ed.) (2004) *Growing Explanations. Historical perspectives on recent science* (Durham,

NC, Duke University Press).

Wolfram, S. (2001) *A New Kind of Science* (Champaign, IL, Wolfram Media).

World Futures, *The Journal of General Evolution* (2004), vol. 60.

Notes

[1] Michel Alhadeff-Jones est professeur assistant adjoint au Teachers College, Columbia University, et travaille également comme chercheur indépendant. Pour toute correspondance, écrire à : education.critiques@gmail.com.

[2] Malgré le fait que les recherches de Morin ont été traduites en plusieurs langues, les références à son travail demeurent encore modestes dans les pays anglophones. Parmi les rares textes traduits et les références à son sujet, on peut mentionner : Morin, E. (2007) Restricted Complexity, General Complexity, *in* : C. Gershenson, D. Aerts & B. Edmonds (ed.) *Worldviews, Science and Us, Philosophy and Complexity* (pp. 5-29) (London, World Scientific) ; Morin, E. (1992) *Method. Towards a study of humankind. Volume 1 : The nature of nature* (New York, Peter Lang) ; Morin, E. (1992) From the Concept of System to the Paradigm of Complexity, *Journal of Social and Evolutionary Systems*, 15:4, 371-385 ; Kofman, M. (1996) *Edgar Morin. From big brother to fraternity* (London, Pluto Press). Voir également le numéro spécial de la revue *World Futures* (vol. 60, 2004) consacré à sa démarche intellectuelle.

[3] Voir par exemple la démarche historique adoptée par Musso (2003) fondant une critique du concept de réseau ; voir également la démarche sociologique de Boltanski et Chiapello (1999) illustrant et théorisant la façon dont l'introduction dans le management, dès la fin des années 1970, de concepts associés à la complexité contribua à affecter et à renforcer un discours légitimant les mutations du capitalisme, et redéfinissant la façon de négocier les dynamiques de pouvoir et la critique sociale ; voir enfin l'approche généalogique de Lafontaine (2004) qui, si elle mériterait d'être nuancée, a néanmoins le mérite de souligner la nature de l'environnement social au sein duquel se sont développées des théories telles que la cybernétique.

[4] Il semble pertinent de garder à l'esprit le fait que plusieurs théories centrales éclairant l'idée de complexité trouvent leurs racines dans des recherches militaires opérées pendant la Seconde Guerre Mondiale et pendant la Guerre Froide (Fox Geller, 2004 ; Lafontaine, 2004) ; de même certaines de ces contributions ont rencontré un succès inhérent à leurs affinités avec une certaine vision du développement marchand et économiques. De façon analogue, certains développements contemporains, tels que les recherches sur la Vie Artificielle, apparaissent ancrés dans un référentiel de valeurs caractéristique d'un mode de pensée masculin et occidental, perpétuant des représentations du monde spécifiques (Helmreich, 2004).