

AFSCET

Revue Internationale de
systemique

Revue
Internationale
de Sytémique

volume 08, numéros 4-5, pages 353-375, 1994

La science post-normale
et les systèmes complexes émergents

Silvio Funtowicz, Jerry R. Ravetz

[Numérisation Afscet, septembre 2015.](#)



Creative Commons

Revue Internationale de

systemique

ÉCONOMIE ÉCOLOGIQUE
ET
SYSTÉMIQUE

Vol. 8, N° **4-5**, 1994

afcet

DUNOD

LA SCIENCE POST-NORMALE ET LES SYSTÈMES COMPLEXES ÉMERGENTS

Silvio FUNTOWICZ et Jerome R. RAVETZ

Résumé

Les systèmes complexes deviennent de plus en plus l'objet d'importantes recherches innovatrices et d'applications dans de multiples domaines. Cet article établit une distinction entre complexité ordinaire et émergente ; ce que nous appelons complexité émergente est un appareil heuristique pour décrire et expliquer dans le contexte technique de la théorie des systèmes ce qui est authentiquement humain à propos de l'humanité. Nous montrons qu'une analyse complète de la complexité émergente nécessite une pensée dialectique, où la « contradiction » est le concept clé. De cette façon, nous pouvons intégrer des concepts apparemment paradoxaux, comme ceux de « destruction créatrice » et « d'état autolytique » d'un système, dans un cadre scientifique général. Nous utilisons une métaphore mathématique, celle d'un espace de phases multidimensionnel, afin d'exprimer l'idée d'une pluralité de perspectives légitimes qui sont à la base de la diversité. Nous donnons ainsi un fondement philosophique à la « science post-normale » qui articule la connaissance scientifique à l'éthique et au choix politiques controversés.

Abstract

Complex systems are becoming the focus of important innovative research and application in many areas. This article makes a distinction between ordinary and emergent complexity; what we call emergent complexity is an heuristic tool for describing and explaining, within the technical vocabulary of systems theory, what is authentically human about humanity. It is argued that a full analysis requires dialectical thinking, where "contradiction" is the key concept. In this way, one can integrate such apparently paradoxical concepts as "creative destruction" and "autolytic state" within a general scientific framework. A mathematical metaphor of multidimensional phase space is employed as a way of expressing the idea of a legitimate plurality of perspectives underpinning social and ecological diversity. In this way a philosophical foundation is given for "post-normal science" which brings scientific understanding into conjunction with ethics and political resolution.

I. INTRODUCTION

Les approches réductionnistes traditionnelles se montrent incapables de trouver une solution aux nouveaux problèmes scientifiques et de les comprendre (Costanza *et al.*, 1993). Face à cette situation, les systèmes complexes deviennent de plus en plus l'objet de recherches innovatrices et d'applications dans de multiples domaines. Ce développement reflète le remplacement progressif de la physique classique comme science exemplaire de notre ère, ainsi que l'émergence d'un rôle créatif nouveau pour les mathématiques. Les formalismes et les modélisations ne sont plus considérés comme la représentation du cœur de la vérité immuable et de la certitude dans un monde fluctuant. Au contraire, on les utilise pour exprimer positivement la variabilité et l'incertitude inhérente au monde de l'expérience.

La différence entre système simple et système complexe est maintenant bien établie (Casti, 1986). En revanche, il paraît utile de préciser le concept de complexité en distinguant la complexité ordinaire de la complexité émergente qui se caractérisent chacune par des « modèles » propres de structure et de relations. La diversité et l'hégémonie se retrouvent à la fois dans les complexités ordinaire et émergente, mais de manières différentes. Dans la complexité ordinaire, la situation la plus courante est une complémentarité entre compétition et coopération, avec une diversité d'éléments et de sous-systèmes. En revanche, la complexité émergente oscille fréquemment entre hégémonie et fragmentation (celle-ci étant appréhendée comme un conflit entre plusieurs tentatives d'hégémonie). Cette caractéristique se trouve rarement dans la complexité ordinaire. Une autre caractéristique de la complexité émergente, ce que nous appellerons l'état autolytique d'un système, est de même absente de la complexité ordinaire. Nous postulons enfin que la diversité est, en général, une caractéristique désirable. Dans la complexité ordinaire, la diversité peut être inintentionnelle, alors que pour la complexité émergente le maintien de cet état provient d'un engagement spécial et d'une attention particulière.

Dans cet article nous montrons qu'une analyse complète de la complexité émergente nécessite une pensée dialectique, où la « contradiction » s'avère le concept-clé. Ainsi, nous pouvons intégrer dans un cadre général des notions apparemment aussi paradoxales que celles de « destruction créative » (d'après Schumpeter, 1938). Nous utilisons également une métaphore mathématique, celle d'un espace de phases multidimensionnel dans lequel les systèmes complexes sont contenus. Ceci nous permet d'illustrer à ces outils conceptuels, nous sommes en mesure de donner un fondement philosophique à la « science post-normale » (Funtowicz et Ravetz, 1991). En introduisant cette dernière, nous pouvons résoudre la contradiction entre réductionnisme hégémonique et relativisme fragmentaire, caractérisant tous deux la condition post-moderne.

II. COMPLEXITÉ ORDINAIRE ET COMPLEXITÉ ÉMERGENTE

Au cours des dernières années, la théorie des « systèmes » a été développée et enrichie par de nombreuses approches dans lesquelles des propriétés dynamiques ont été ajoutées à un cadre explicatif qui était plutôt statique à l'origine. Parmi elles, on peut souligner la complexité se manifestant de plus en plus souvent dans divers contextes scientifiques. Ces nouvelles idées de systèmes qui se sont développées conjointement avec les concepts de structure, de croissance, de changement qualitatif et de chaos, ont fourni un puissant outil analytique applicable à de nombreux domaines. A mesure de la migration des concepts de leur simple énoncé dans leur champ abstrait d'origine vers leur application aux mondes biologique et social, il est devenu nécessaire d'affronter leur relation avec la réalité extérieure. Conférer un quelconque degré de réalité à toute construction intellectuelle engage de nombreux facteurs incluant, entre autres, la métaphysique et son conditionnement culturel, les habitudes des groupes sociaux, et les compromis personnels. Ainsi, nous considérons généralement que certaines « pensées » ou certaines « causes » constituent de bonnes représentations de la réalité, tandis que d'autres relèvent davantage de l'artefact. A titre d'exemple, le concept de « masse » qui ne doit pas être confondu avec celui de « poids », doit son origine à l'expérience ordinaire, alors qu'il a été intégré au sein des théories newtonienne et einsteinienne. Parfois, les différences dans les accords ontologiques sont liées étroitement à la pratique ; c'est le cas par exemple du concept « d'ensemble » parmi les théoriciens des fondements des mathématiques. En ce qui nous concerne, il n'est pas nécessaire d'appréhender le concept de « système » avec une forte réalité auto-subsistante ; il nous suffit qu'il s'agisse d'un puissant concept heuristique. D'aucuns peuvent être en désaccord ; ce genre de différend n'est jamais entièrement résolu mais évolue sur un mode dialectique ou bien tombe en décadence au cours de l'histoire.

La complexité émergente peut se distinguer d'autres objets relevant de l'interrogation scientifique de la façon suivante. L'objet ou l'état le plus simple est celui qui peut être étudié grâce aux instruments classiques des mathématiques et de la physique. Cette approche a fonctionné comme standard usuel pour des générations de chercheurs de sciences naturelles et sociales. Plus récemment, on a découvert la « complication », caractérisée par la non-linéarité de ses processus ; au-delà de celle-ci, nous trouvons la complexité ordinaire, comportant structure et auto-organisation (ce qui implique une certaine téléologie). Alors que la complication ne comporte aucune téléologie (bien qu'il puisse y avoir une direction unique, comme dans la théorie de Fourier sur la dissipation de la chaleur), la complexité ordinaire a une téléologie simple. Les frontières entre ces différentes classes ne sont pas claires ; ainsi, les systèmes dissipatifs étudiés par Prigogine se trouvent au niveau le plus bas de complexité. Les systèmes complexes ordinaires et émergents peuvent être comparés en termes de comportement

face à la stabilité et au changement. A partir de l'exemple des espèces biologiques, une liste des propriétés pertinentes des systèmes complexes ordinaires peut être établie. Une partie importante de leur comportement peut s'expliquer par des mécanismes auxquels on adjoint une fonction téléologique, avec des objectifs systémiques simples, par exemple croître et survivre. L'état normal pour ce genre de systèmes est celui de la diversité d'éléments, coexistant avec (ce que nous interprétons comme) une complémentarité entre compétition et coopération. Les systèmes complexes ordinaires ont tendance à maintenir une certaine stabilité dynamique face aux perturbations et cela jusqu'à un certain seuil. L'effondrement d'un système peut être le résultat de perturbations directes comme l'incendie ou l'envahissement agressif. Bien sûr, pour inclure ce genre d'événements occasionnels et extrêmes, il peut être utile d'élargir les frontières du système. Les nouvelles idées du chaos et de ses rives permettent de simuler et d'analyser des processus fortement imbriqués et variables dans leur apparence (Kauffman, 1993).

Par contraste, les systèmes complexes émergents ne peuvent pas s'expliquer uniquement de façon fonctionnelle et mécaniste. Au moins une partie des éléments de tels systèmes possède une individualité, avec un certain degré d'intentionnalité, de conscience, de prévision, de finalité, de représentations symboliques et de la moralité. Les tentatives visant à réduire la société humaine à la dimension de complexité ordinaire peuvent conduire à la création de théories irréelles (comme par exemple B.F. Skinner) ou à des politiques catastrophiques (comme par exemple celle de Pol Pot). Une autre différence entre la complexité ordinaire et la complexité émergente est liée à la nouveauté. Il est rare de trouver dans les systèmes complexes ordinaires, bien que les propriétés numériques de leurs sous-systèmes (nombre et densité de la population) puissent fortement varier, une authentique nouveauté parmi leurs éléments (une véritable *Origine des Espèces* et non pas la seule formation de variétés). Il est non seulement inhabituel, mais même difficile d'en fournir une explication en termes de système mécaniste. Par ailleurs, la nouveauté permanente pourrait être considérée comme une des propriétés caractéristiques de la complexité émergente. Ceci peut apparaître à différents degrés de développement ; ainsi, nous nous référons aux « sociétés traditionnelles » comme à celles où les propriétés émergentes de la société (et de ses membres) ne sont pas aussi développées que dans la nôtre. Pour nous, le rythme de la nouveauté s'accélère de plus en plus dans toutes les sphères de la vie, y compris dans les domaines de la symbolique et de la connaissance. Le phénomène de la post-modernité est le reflet de ce flux ; pour ceux qui y adhèrent, il n'existe pas une réalité interpersonnelle stable en dehors, tout est relié épiphénoménalement à la connaissance et aux modes de comportement. (Pour une discussion de la post-modernité en relation à la science et la technologie, voir Funtowicz et Ravetz, 1992).

Nous avons mentionné précédemment que les systèmes complexes émergents peuvent parfois être étudiés et traités avec succès comme s'ils relevaient de la complexité ordinaire. Plus encore, puisque nous sommes simultanément des êtres de la Nature et de la Société, les aspects émergents de nos systèmes techniques et sociaux seront toujours, comme jusqu'à présent, le sommet d'un iceberg dont la plus grande partie est faite de complexité ordinaire. Nous pouvons aussi nous attendre à une zone frontalière où les deux types de critères pourraient coexister à différents degrés ; ceux-ci deviendront objet de débat scientifique et idéologique puisqu'ils sont cruciaux pour la détermination de notre propre identité. Ainsi, les mammifères supérieurs, possédant des outils cognitifs et sociaux, nous invitent à concevoir l'humanité de différentes façons. Les chiens et les chats sont des amis, les primates peuvent raisonner, et certains affirment que les cétaqués pourraient même nous réédifier au niveau de la perception. Des espèces apparemment inférieures dans l'échelle évolutive, comme les fourmis, peuvent exhiber des comportements extrêmement organisés et hégémoniques qui n'ont jamais cessé de nous fasciner et peut-être même de nous effrayer. Une toute autre sorte de système, fondé sur les ordinateurs, contribue à une nouvelle approximation en de différentes directions. L'intelligence artificielle nous pose des questions relatives à la définition de la « rationalité », et maintenant la réalité virtuelle ouvre de nouvelles perspectives sur l'être et l'existence personnelle et sociale. A mesure que la technologie de l'espace cybernétique évolue, nous pouvons imaginer une intégration plus étroite et une symbiose accrue des humains et des machines. Dès lors, il est probable que la zone frontalière entre complexité ordinaire et émergente devra être réexaminée (voir Gibson, 1984). On peut affirmer que, pour certains aspects, il n'existe déjà plus (ou bien, il n'a jamais réellement existé) de systèmes complexes purement ordinaires. Tout système naturel a des propriétés qui affectent notre bien-être, et s'avèrent importantes pour nous. Notre description de systèmes et de relations comme la « compétition » (pour ne pas parler de l'égoïsme) structure nos perceptions, nos concepts et nos activités de recherche et *vice versa*.

III. LE SYNDROME DE L'ANCIEN RÉGIME

Dans le cadre de la complexité émergente, la technique et la connaissance consciente sont complémentaires ; à travers elles, une espèce peut influencer tous les systèmes liés à son propre intérêt. Ce facteur peut expliquer les phénomènes d'hégémonie à grande échelle ainsi que la longévité de l'espèce humaine. Par hégémonie il faut entendre un état du système où les buts d'un élément ou d'un sous-système sont totalement dominants, au point d'annihiler ou de laisser en état

de survie marginale tous les autres. Cet état alterne (structurellement et temporellement) avec la fragmentation, qui est un conflit entre plusieurs tentatives d'hégémonie. Le résultat du mélange de ces formes opposées et polarisées de relations dépend fortement du contexte; cependant (comme nous le voyons à présent), le danger d'écroulement des sociétés hégémoniques dans la fragmentation est supérieur à ce que nous aurions pu imaginer. D'une certaine façon, l'agriculture moderne intensive peut être considérée comme une forme d'hégémonie de l'espèce; appuyée par des technologies de plus en plus sophistiquées, elle est de plus en plus clairement instable dans sa relation au contexte de son écosystème.

Dans l'état hégémonique, les contradictions internes du système ne sont pas résolues mais supprimées. Nous pouvons parler d'un syndrome d'Ancien Régime, caractérisé par la sous-performance dans les attributs-clés, par l'interdiction de la diversité, et par l'évitement de la nouveauté. Le régime se refuse à reconnaître ou à affronter ses propres problèmes, même quand ceux-ci deviennent évidents aux yeux de tous les autres. Dans les sociétés traditionnelles existait une tendance cyclique (analysée par Ibn Khaldun), qui faisait qu'après plusieurs générations une dynastie devenait totalement corrompue et indifférente aux devoirs minimaux de la charge du gouvernement. Le système ne savait pas s'adapter au changement et aux défis (comme la prévention ou l'atténuation des conséquences des désastres technico-naturels tels que les inondations ou la sécheresse). Ainsi, lorsque le régime était menacé, il ne pouvait plus s'appuyer sur aucune réserve de loyauté; un changement externe en apparence mineur pourrait alors le faire chavirer. Ceci peut expliquer l'improbable séquence d'événements décrite par l'apophorisme de Franklin. « Pour vouloir un ongle on a perdu la chaussure », et ainsi de suite pour le cheval, le message, la bataille, la guerre et l'empire. Il est clair qu'un régime si peu élastique et flexible envers les incertitudes des batailles et des guerres était sujet au syndrome de l'*ancien régime* (Franklin, 1935). Parmi d'autres exemples du même phénomène dans le domaine politique, on peut citer l'accident de Tchernobyl dans l'ex-Union Soviétique, et le tremblement de terre à Managua, au Nicaragua; dans les deux cas, la confiance publique envers les autorités a été fatalement affaiblie par leur pitoyable réaction face aux désastres et à leurs conséquences.

Un phénomène semblable a été observé dans le cas des systèmes naturels; ainsi le *Krumholz spruce* (arbtre) peut produire des groupes d'arbres très vieux, avec une grande densité de petits arbres et aucun sous-bois, une sorte de « désert biotique » hégémonique, qui malgré la sous-performance qu'il représente, peut persister pendant longtemps. Il peut résister à la disparition, jusqu'à ce qu'une force externe ou bien un phénomène à plus grande échelle ne le détruise finalement. On peut imaginer que le type de systèmes d'*ancien régime* se trouve plus facilement

dans des écosystèmes isolés, comme les îles; peut-être l'Australie pourrait-elle être considérée comme un tel exemple à grande échelle. La vulnérabilité des systèmes complexes émergents peut s'avérer encore plus subtile. Ainsi, l'effondrement du bloc communiste a provoqué des changements radicaux dans d'autres pays, qui ne lui étaient pas liés de façon évidente. Toutefois, leurs systèmes politiques, dont certains en état d'*ancien régime*, ont été bâtis idéologiquement comme une réponse à une menace soviétique présumée. A partir du moment où celle-ci est officiellement reconnue comme non-existante, toute sorte de mesures conservatrices et répressives ont perdu leur justification. Ainsi, en Afrique du Sud, la libération et la réhabilitation de Nelson Mandela pourrait être interprétée comme une conséquence lointaine de la chute du mur de Berlin.

Les systèmes complexes émergents peuvent de même illustrer une version encore plus extrême de l'effondrement de l'hégémonie. Ceci a lieu même avant que la menace externe ne se présente; le système tout simplement s'écroule et la plupart des ses fonctions se paralysent. Ceci se produisit dans la Russie tsariste, lorsque le simple contrôle des postes et télécommunications de la capitale par les Bolchéviques leur permit l'accès au pouvoir; par contre, les insurgés Irlandais, qui l'année précédente avaient également pris possession de la poste de Dublin, furent rapidement défaits et pendus pour leur tentative. Nous pouvons donc parler d'une propriété « autolytique », qui distingue les systèmes complexes émergents des systèmes de complexité ordinaire. Celle-ci, ainsi que le syndrome d'*ancien régime*, peuvent s'appliquer, non seulement aux systèmes politiques, mais également à des technologies particulières, et même à notre culture industrielle dans son ensemble. A cet effet, la nouvelle prophétie de E.M. Forster, *La Machine s'arrête*, peut être considérée comme une parfaite illustration d'un *ancien régime* passant à son état autolytique (voir Forster, 1954). Ce dernier peut se comparer de façon intéressante avec l'état « d'autopoiesis » qui a été identifié comme une caractéristique des systèmes complexes authentiques (Maturana et Varela, 1980).

L'état autopoïétique a été abondamment analysé en termes de systèmes. La métaphore évocatrice de « la révolte des variables esclaves » a été utilisée pour décrire la concaténation de changements discontinus ascendants à partir des niveaux inférieurs (les moins inclusifs) d'organisation vers les niveaux supérieurs, provoquant un « moment anagénique ». Il paraît que l'anagénie peut apparaître moyennant une intensification générale de l'état d'*ancien régime*, conduisant à une « rigidification » et à la paralysie. De façon alternative, une oscillation croissante du système dans sa totalité pourrait se produire, et atteindre au chaos, « moyennant un degré critique d'entraînement synergique des oscillations aux niveaux inférieurs ». Au lieu de s'ankyloser, le système se désintègre de lui-même en

réaction aux défis. Il est intéressant qu'un tel phénomène puisse être perçu occasionnellement au sein des systèmes de complexité ordinaire, comme une caractéristique de cultures ayant atteint leur climax. Leur fragilité envers les chocs externes peut s'analyser en termes de diminution des stocks d'énergie disponible ; alternativement, en termes de conception, on peut l'interpréter comme une optimisation de la gestion des contradictions internes au détriment de la capacité de défense.

Ce dernier exemple nous rappelle que les systèmes, tels que nous les imaginons traitant de phénomènes réels naturels et sociaux, sont fortement articulés de façon interne, et ont de multiples relations extérieures. Ainsi, un exemplaire d'un avion commercial constitue un élément d'un système de production et utilise un dessin particulier d'avion ; ce système s'imbrique avec d'autres systèmes réalisés par plusieurs organisations ; il fait aussi partie d'un système plus large, celui des transports aériens, et finalement il est également imbriqué avec les systèmes d'emploi, de formation, d'usage de ressources, de défense, etc. Sous de nombreux aspects, de tels systèmes sont des systèmes de complexité ordinaire, particulièrement chaque fois que les actions des individus sont fortement significatives pour l'ensemble. A ce propos, le « marché » (tel qu'il est idéalisé en théorie économique) pourrait être considéré comme un exemple de l'usage plus efficace d'un système complexe ordinaire pour organiser les transactions entre les systèmes complexes émergents de désirs et de besoins que représentent les individus. Cependant, étant donné que tout marché durable nécessite des régulations externes, ne serait-ce que pour la régulation des activités malhonnêtes ou criminelles de toutes sortes, et l'établissement d'une confiance entre les acteurs principaux, l'impression de complexité ordinaire qu'il donne n'est que partiellement vraie, et peut-être même obscurcit plus qu'elle n'éclaire notre compréhension. De même, le rapide remplacement de la planification centralisée par des économies de marché a conduit dans certains contextes, non pas à l'accroissement espéré de la diversité, mais seulement à l'accroissement de la fragmentation.

V. LES DIMENSIONS DE LA COMPLEXITÉ ÉMERGENTE

Afin de mieux comprendre la complexité émergente, nous pouvons emprunter une métaphore mathématique à la théorie du chaos, celle de l'espace de phases multidimensionnel. Les dimensions incluent celles des attributs mécaniques pertinents (espace, temps, propriétés mesurables), les attributs de complexité ordinaire de structure et de fonction, et ceux des domaines techniques, économiques, sociaux, personnels et moraux. Ces dimensions supérieures sont en

relation avec la connaissance et la conscience et, bien sûr, elles ne présentent pas le même type de propriétés métriques que les dimensions inférieures. Comme l'avait mis en évidence Aristotle (1925, Ch. 3, 1094b), nous ne pouvons pas espérer une même précision de raisonnement en géométrie et en éthique. Nous pouvons utiliser le terme « topologie » qui indique cette différence : les dimensions inférieures ont une « topologie » plus « dure », permettant les mesures et les estimations quantitatives avec (disons) des échelles ordinales ; de leur côté, les dimensions supérieures ont une « topologie » plus « flexible », à l'aide de laquelle il est possible de décrire des propriétés plus qualitatives.

En mathématiques comme en physique, les configurations de plusieurs dimensions s'étudient parfois à travers leurs projections sur les sous-espaces de dimension inférieure ; ainsi, un problème tétradimensionnel peut être étudié moyennant sa projection sur des plans tridimensionnels. L'analogie dans notre interprétation de la théorie des systèmes est l'utilisation de relations mathématiques pour décrire des réalités biologiques ou sociales. Cependant, on sait aussi qu'en mathématiques, les visions partielles des dimensions inférieures n'apprennent pas une vision totale de l'ensemble ; ainsi, les variétés tridimensionnelles ont des propriétés qui ne peuvent être comprises dans une perspective à une ou deux dimensions. Les propriétés de dimensions supérieures peuvent aussi sembler paradoxales ou contre-intuitives, comme dans les exemples bien connus de la bande de Möbius ou de la bouteille de Klein. Ces exemples nous rappellent que les « dimensions », telles que nous les entendons ici, sont qualitativement différentes des niveaux d'intégration habituels en biologie. Ceux-ci sont généralement stratifiés par inclusion ; ainsi, les organismes incluent les cellules, etc. et les propriétés émergentes s'appliquent aussi à l'ensemble agrégé. Or, les dimensions de l'espace de phases contiennent ces niveaux biologiques, mais s'étendent aussi au-delà, jusqu'à comprendre d'autres aspects des systèmes ; et il n'est pas nécessaire que les dimensions supérieures (comme les domaines de la symbolique et la conscience) incluent les dimensions inférieures. La connaissance apportée par cette métaphore nous permet d'éviter des erreurs de catégorie dans les discussions sur les systèmes, erreurs de type anthropomorphe sur les dimensions inférieures ou erreur mécaniste sur les dimensions supérieures (à comparer à O'Connor, 1989).

Une analogie utile est celle de Flatland, le roman classique victorien de science-fiction et d'utopie sociale (Abbott, 1935). Là, les habitants des espaces comportant le plus de dimensions avaient une conscience d'eux-mêmes plus élevée, et pouvaient également voir au-delà et à travers la conscience des créatures plus simples qui habitaient dans les dimensions inférieures. Pour résumer le dénouement de l'histoire, les habitants de l'espace sphérique tridimensionnel étaient tout aussi limités dans leur conscience que ne l'étaient les habitants des espaces des droites

sociales elles-mêmes fournissent une justification d'une pluralité irréductible des perspectives sur la réalité, et par la suite la croissance auto-consciente de la Science comme activité sociale a encore davantage érodé la base expérimentale du réalisme naïf. La notion d'incommensurabilité de Kuhn (1962) a fait surgir le spectre de la fragmentation dans la Science ; et en conséquence, le mouvement post-moderne a étendu la fragmentation à tous les domaines de connaissance (voir Feyerabend, 1975). Dans cette perspective, bien que le relativisme (principe selon lequel tout point de vue est aussi valable que n'importe quel autre) apparaisse comme totalement opposé à la fragmentation (le conflit entre différents essais d'hégémonie), en pratique, le premier dérive rapidement vers la seconde.

Le contexte social et intellectuel du travail scientifique s'est transformé à travers les problèmes nouveaux de risques, d'environnement et du soupçon de l'opinion envers les travaux de la science. De nombreuses versions (de plus en plus sophistiquées) de la science réductionniste ont été élaborées, employant des techniques mathématiques variées, allant de la théorie des jeux à la statistique Bayésienne et à la théorie des catastrophes, et incluant à un certain stade l'analyse de systèmes. L'augmentation récente de l'intérêt pour les systèmes complexes indique un changement d'attitude et de direction. Ainsi, les mathématiques deviennent davantage un moyen de voir et de comprendre qu'une représentation d'essence atemporelle. Cette nouvelle attitude permettra une résolution de la fragmentation de la connaissance qui succède à l'écroulement de l'hégémonie de la vieille conception réductionniste de la science. L'appréciation de la diversité, qui signifie tout autre chose que le relativisme, peut conduire à une nouvelle pratique de la science dans les systèmes complexes émergents. C'est ce que nous nommons la Science post-normale.

La complexité émergente fournit une justification théorique à la science post-normale, dans laquelle la communauté conférant une garantie de qualité s'étend au-delà des experts certifiés pour y inclure tous ceux qui ont quelque intérêt dans le sujet. Ce concept aide à comprendre qu'il n'existe pas une perception unique qui puisse fournir une vision omnicompréhensive et adéquate du sujet dans son ensemble, ni un critère particulier de qualité pouvant exclure les autres de façon hégémonique. Casti (1986) a exprimé l'idée de pluralité de perspectives légitimes alternatives en assimilant le degré de complexité au nombre des descriptions non-équivalentes d'un système. Atlan (1991) a établi un point semblable : « plus un phénomène est complexe et singulier, plus toute théorie susceptible d'en rendre compte est sous-déterminée, donc incertaine ». Dans notre espace de phases heuristiques appliquées à la complexité émergente, la propriété analogue de la dimensionnalité est celle selon laquelle aucune vision partielle ne peut appréhender l'ensemble. Il est donc nécessaire et légitime, pour permettre le dialogue sur ces

sujets, d'inclure les personnes représentant les différents intérêts. Ceci peut concerner les enfants, les espèces non-humaines ou les valeurs éthiques. Ces points correspondent à la pratique croissante en matière de résolution de problèmes environnementaux globaux. Pour ces derniers, les tentatives précédentes, qui privilégiaient un seul ensemble de dimensions, celles propres à l'hégémonie de la culture occidentale, se sont avérées inadéquates à tous les niveaux, y compris au niveau des aspects pratiques, économiques, politiques et éthiques (voir par exemple Davis, 1993).

Nous pouvons comprendre le défi relevé par la science post-normale en termes de systèmes, en invoquant la propriété des systèmes complexes « au bord du chaos » (Lewin, 1992). Cela a un sens mathématique strict pour les systèmes complexes simulés ; dans le cas de la complexité émergente, nous pouvons traduire la tendance au chaos par la fragmentation, et la tendance à l'organisation par la diversité. La science post-normale fournit des concepts grâce auxquels les débats relatifs aux politiques concernant des problèmes situés « au bord du chaos », et les contradictions et tendances conflictuelles qui y apparaissent comme résultat des différences de perception et de valeurs présentes, peuvent être contenues et créer une occasion d'apprentissage et de respect mutuel. Ce respect peut survivre même dans des conflits mortels, comme cela était souvent le cas dans des contextes aussi différents que ceux de la chevalerie médiévale ou du samouraï japonais. Il reste à l'insérer dans l'agenda ordinaire de la politique de prise de décision.

La métaphore de l'espace de phases appliqué à la complexité émergente fournit également un moyen de comprendre l'incertitude, y compris le type d'incertitude qui, jusqu'ici, n'était pas appréhendé par l'analyse structurale. De nombreuses tentatives ont été faites pour quantifier ou formaliser l'incertitude afin d'aider à la prise de décision ; mais plus les incertitudes s'éloignent des probabilités classiques, plus les difficultés méthodologiques de ces programmes deviennent graves (Funtowicz et Ravetz, 1990). En utilisant notre métaphore de l'espace de phases, nous pouvons considérer l'incertitude irréductible comme une propriété systémique de la complexité émergente. Ainsi, toute perception singulière (ou projection sur un sous-espace) sera incapable de représenter ce qui correspond aux dimensions d'ordre supérieur. Toutefois, il peut y avoir des effets sur l'ensemble du système, y compris les sous-espaces étudiés, qui dérivent de ces « variables cachées » éternellement présentes. Afin qu'un changement de perception permettant de les appréhender soit possible, il serait nécessaire d'abandonner la vision d'autres sous-espaces. De ce fait, il resterait toujours une incertitude inévitable.

Un simple exemple peut illustrer le concept de complexité émergente. Imaginons un groupe de personnes regardant le flanc d'une montagne (Stark, 1958). Parmi les perceptions possibles, nous avons : juste le flanc d'une montagne ; une agréable

surface d'herbe ; un cas d'étude pour la géomorphologie ; un exemple de succession écologique ; un site d'intérêt archéologique ; une aire potentielle de récréation ; un site de construction de logements ; un centre de géothermie, ou un point de départ pour les adieux des âmes vers l'au-delà. Ces perceptions peuvent coïncider sur certains aspects, mais peuvent aussi comporter des différences, ou même des conflits entre valeurs et réalités. Certaines perspectives peuvent prétendre être « vraies » ou du moins être plus valables que d'autres d'un certain point de vue. Certaines ne le sont que dans la mesure où d'autres perspectives pertinentes sont admises uniquement que si elles ne peuvent être interprétées selon leurs propres termes. La conception scientifique classique, comportant une quantification réductionniste, tentait de s'auto-légitimer de façon logiquement fermée. Elle se prétendait simultanément « rationnelle » et « neutre », réclamant de ce fait un statut privilégié, tout en refusant de le faire. La réaction contre l'hégémonie scientifique a produit quelques-unes des tendances au scepticisme et à la fragmentation, y compris le post-modernisme.

La science post-normale permet d'éviter les implications nihilistes du post-modernisme en observant que le flanc de la montagne existe vraiment, même si personne (y compris nous-mêmes) ne peut la voir dans son ensemble. Les relations entre les différentes perspectives ou projections peuvent largement varier. Les participants peuvent percevoir une complémentarité entre elles ; ou bien, il peut se créer un débat ou se présenter des conflits à propos des différents engagements et perspectives des intéressés. Cette alternative peut être comprise comme constituant les pôles opposés d'un continuum : avec la complémentarité nous avons la diversité ; avec la tentative d'hégémonie, la fragmentation. La complémentarité implique que chaque partie intéressée ait une conscience du fait que sa propre vision n'est que partielle, et (dans les termes de la métaphore de l'espace de phases) n'est qu'une projection de la configuration d'ensemble dans un sous-espace particulier. Dans le cas de la tentative d'hégémonie, une telle conscience de la légitimité des perceptions des autres (et avec cela, des valeurs et des droits) est escomptée ou (dans les cas extrêmes) simplement niée. C'est la fragmentation, à partir de laquelle la vie devient, selon la description de Hobbes, désagréable, brutale et courte.

VIII. COMPLEXITÉ ÉMERGENTE, SOUTENABILITÉ ET ÉTHIQUE

Dans les systèmes de complexité émergente, les représentations symboliques et les jugements éthiques interagissent par le biais des contradictions pour produire quelques-uns des principaux résultats. Ainsi, les contradictions éthiques ont été à

la base de la tragédie comme forme artistique, tandis que les contradictions conceptuelles ont conduit, d'une part à la philosophie, d'autre part aux mathématiques. De ce fait, la civilisation humaine, à la différence des systèmes complexes ordinaires, se transforme perpétuellement en un processus impliquant aussi bien des pertes et des oublis que des conservations et des changements.

En quelle mesure ces considérations sont-elles encore pertinentes quand nous pensons aux instabilités générales qui menacent notre existence planétaire ? Tout d'abord, il serait erroné de considérer que les systèmes complexes émergents, avec tout leur raffinement pathétique, se limitent au champ de la culture humaine, alors que les domaines pratiques de la vie réelle et de la survie correspondraient à un niveau de complexité ordinaire. Nous réalisons à présent que la complexité de l'écosystème dans son ensemble est non pas ordinaire mais émergente. Nos actions, résultant de nos styles de vie et de nos visions de ce qu'est la bonne vie, ont créé de nouvelles natures qui ont transformé tous les écosystèmes préexistants. Beaucoup d'entre eux (y compris agriculture et paysage) ont la propriété paradoxale d'être « non-naturels », c'est-à-dire qu'ils n'existeraient pas et n'auraient pas pu exister sans notre présence. Il ne reste pas plus d'habitats originels vierges, qu'il n'existe de vrais peuples autochtones.

La métaphore de l'espace de phases permet de différencier les parties du système complexe émergentes de celles qui ne le sont pas. Ainsi, un champ de maïs est consacré à la culture d'un produit d'invention humaine et les plantes individuelles ont besoin de la technologie afin de croître et de survivre, mais les processus naturels, libres de toute intention consciente, en sont les forces conductrices. D'un autre côté, dans un système privé de transports de passagers, les dimensions des choix individuels, des actions collectives socialement contraintes, des systèmes juridiques et de régulations, les technologies physiques, ainsi que les problèmes de ressources et de pollution, sont étroitement liés les uns aux autres. Dans ce dernier cas, il n'est pas si simple de diviser l'ensemble en sous-espaces relativement indépendants fondés sur leurs propres dimensions.

L'idée de la contradiction devient très utile lorsque nous considérons le système complexe émergent dans sa totalité, incluant l'humanité et la biosphère. La contradiction caractéristique de ce système est l'incompatibilité entre la recherche individuelle du confort matériel, des commodités et de la sécurité, et les conséquences écologiques possibles même pour une minorité significative de l'humanité. Ceci est bel et bien un système complexe émergent, puisque ces désirs individuels sont fortement conditionnés par les conceptions de la bonne vie qui dérivent d'un milieu culturel bien particulier. Notre propre pollution est en train de transformer notre environnement assez rapidement, même sans l'intervention des pays encore « en développement ». Ceci conduit à la principale contradiction idéologique de

notre civilisation, qui se justifie par des idéaux d'égalité pour toute l'humanité. Or, ceci est pratiquement impossible; il suffit de considérer l'éventualité de quatre milliards d'automobiles privées ainsi qu'un nombre équivalent d'appareils domestiques d'air conditionné.

Ces contradictions pourraient être considérées comme de simples dilemmes, et masquées sous l'étiquette de « développement soutenable ». Mais jusqu'à présent seuls quelques penseurs indépendants peuvent imaginer un « développement » autre que celui aboutissant à une société de consommation ce qui serait insoutenable du point de vue écologique. L'encouragement donné aux pauvres du monde entier à poursuivre des lignes de développement moins destructrices que les nôtres comporte deux contradictions supplémentaires: l'une, l'impossibilité physique d'une société de consommation environnementalement bénigne; l'autre, la honte de voir des riches inculquant aux pauvres les vertus de la pauvreté. La résolution de ces contradictions ne peut pas s'accomplir au niveau de la complexité ordinaire. Pour cela, il faudrait imaginer que la « soutenabilité », qui est reliée à des qualités typiquement humaines, puisse être réduite à la survie dans un sous-espace inférieur de systèmes complexes ordinaires. Ce dernier concept de survie s'applique aux jeux des renards et des lapins, aux chaînes d'ambes et de vie artificielle, à travers une stabilité dynamique sans nouveauté réelle. Dans la complexité ordinaire, l'éthique trouve aussi sa place, comme simple objectif de survie du groupe; dans ce processus, elle perd tout son sens.

L'hypothèse selon laquelle la survie est la seule chose importante, ne peut pas être tenue pour vraie, même dans les situations extrêmes telles que les camps de concentration. Les qualités typiquement humaines se réaffirment même dans ces contextes, de sorte que la mort n'est pas le pire destin des communautés ou des personnes. La faible réaction publique envers les prophètes catastrophistes du début des années soixante peut être due à la révolution que causait leur vision étroite et réduite. Ils donnaient l'impression de ne pas percevoir de différence entre la race humaine et les cultures effectuées dans une boîte de Pétri. Leurs propositions initiales d'appliquer un « triage » des nations, en en abandonnant quelques-unes à cause de leur fécondité irresponsable, étaient proches du blâme et de la punition infligée à des victimes pour une situation dont l'origine est à chercher dans notre propre faute au moins autant que dans la leur. De cette façon, la logique de la cosmovision mécaniste scientifique l'a portée au-delà de la moralité ordinaire (comme cela était déjà le cas pour l'eugénisme). Cela devient tout autant contre-intuitif que la vision dialectique de la mort et même du désastre comme échanges symboliques avec une nature significative (voir O'Connor, 1994a, 1994b), invoquant des dimensions supérieures de la réalité auxquelles la réaction commune serait celle de la Sphère de Flatland.

La soutenabilité ne se réduit donc pas à une simple question de survie; et de même, une stratégie globale concentrée seulement sur la survie serait confrontée probablement à de grandes contradictions idéologiques et sociales et finirait probablement par exploser. En effet, la complexité émergente implique des liens comme la solidarité pour maintenir sa propre stabilité dynamique. Cette solidarité pourrait, dans des conditions extrêmes, en venir à reconnaître que la poursuite d'une vie individuelle ne constitue pas un objectif absolu. De façon générale, en l'absence de solidarité, une société tendrait à dégénérer, non pas en complexité ordinaire mais tout simplement en horreur. L'histoire et la fiction nous en fournissent des exemples, ainsi dans *Le Seigneur des Mouches* (William Golding, 1954). Le concept de « coévolution » développé par Richard Norgaard (1994) offre la possibilité d'une synthèse avec la complexité émergente. En permettant une vision enrichie de la soutenabilité, il fournit une articulation entre les différents sujets que nous avons abordé en connexion avec la science post-normale.

IX. CONCLUSION

Ce que nous avons appelé complexité émergente est un appareil heuristique pour décrire et expliquer, dans le contexte technique de la théorie des systèmes, ce qui relève de l'humain à propos de l'humanité. Dans ces termes, la survie n'est que l'ombre de ce que serait la soutenabilité. Il y a des vies qui méritent d'être vécues et d'autres qui n'en valent pas la peine. La poursuite de cet idéal de la vie méritant d'être vécue, particulier et biaisé, comme si nous étions des éléments d'un système de complexité ordinaire, nous a conduit à l'actuel état de péril. Les simplicités confortables de la théorie des systèmes que présuppose la complexité ordinaire ont un prix: la négation de la réalité humaine, avec toutes ses contradictions, les destructrices comme les créatrices.

L'analyse exploratoire développée ici s'avère complémentaire aux approches plus formelles de type mathématique ou computationnel. Celles-ci développent les propriétés de ce que nous appelons la complexité ordinaire, et des résultats d'importance et d'utilité considérables peuvent en être dérivés. Notre intention est d'articuler ce qui reste de l'autre côté de cette frontière indistincte qu'est l'espace conceptuel de la complexité émergente. Une utilité possible de la discussion présentée ici serait d'éviter de futurs débats stériles visant à déterminer si oui ou non les machines ou les ordinateurs peuvent se révéler complètement humains sous quelques aspects essentiels. Suffisamment de travail intéressant et stimulant peut être réalisé à partir de la complexité ordinaire sans avoir besoin de vouloir en tirer plus que ce qui est justifiable ou utile.