

Revue Internationale de

ISSN 0980-1472

systemique

SYSTÉMIQUE ET COMPLEXITÉ

Vol. 4, N° 2, 1990

afcet

Dunod

AFSCET

Revue Internationale de
systemique

Revue
Internationale
de Sytémique

volume 04, numéro 2, pages 295 - 318, 1990

Conception de la complexité
et complexité de la conception

Jean-Louis Le Moigne

Numérisation Afscet, janvier 2016.



Creative Commons

- [25] M. LIU, «*La recherche-action, portée, limites et perspectives*», Thèse d'Etat, septembre 1986.
- [26] E. MAYO, «*The social problems of an industrial civilisation*», Andover Press, 1945.
- [27] R. LIPPIT, «*An experimental study of the effect of democratic and authoritarian group atmosphere*», Univ. Iowa Stud. Child Welf., 1940, 16, N° 3 p. 44-195.
- [28] F. EMERY, E. THORSRUD, «*Democracy at work*», Martinus Nijhoff, Leiden, 1976.
- [29] K. LORENZ, op. cit. p. 36.
- [30] DOI TAKEO, «*Le jeu de l'Indulgence*» Paris, Le sycomore-l'Asiathèque, 1970, 133 p.

CONCEPTION DE LA COMPLEXITÉ ET COMPLEXITÉ DE LA CONCEPTION

Jean-Louis Le MOIGNE

Université d'Aix-Marseille III¹

*«Le problème est désormais de transformer
la découverte de la complexité en méthode de
la complexité.»*

E. Morin⁽¹⁾

Peut-on même concevoir la complexité, qu'il s'agisse de la complexité des rapports humains, des programmes d'ordinateur ou du «problème des trois corps» ? La complexité n'est-elle pas, à la lettre, inconcevable ? Une complexité que l'on pourrait concevoir - et donc décrire, dessiner, former, représenter, inventer, projeter, comprendre - serait-elle véritablement complexe ? Ne serait-elle pas plutôt, fort banalement, compliquée, tout au plus hyper-compliquée ? D'interminables calculs ne permettraient-ils pas d'en expliquer les formes les plus singulières, et de nous livrer enfin l'entendement par l'explication quasi laplacienne⁽²⁾ du phénomène trop tôt présumé complexe ? Pour être entendu, ne doit-il pas être concevable ?

Paradoxe, alors, ou jeu de mots ? Chacun sait, d'expérience familière, concevoir la complexité, la reconnaître, la désigner, même s'il faut convenir de son impossible réduction à quelque modèle achevé, fermé, calculé. Chacun sait d'expérience la nécessité-même de ce concept ... complexe par excellence ... pour exprimer bien des perceptions quotidiennes, ou pour justifier bien des projets d'intervention. Son ambiguïté même est rassurante. Une complexité «clairement concevable», et donc réductible au calculable perdrait sa force de légitimation des actions et des inactions qu'elle suscite ou qu'elle cautionne ; ne suffirait-il

1. GRASCE, (CNRS 935), 23, cours Gambetta, 13627 Aix-en-Provence Cedex.

pas, pour l'épuiser, de disposer d'une intelligence laplacienne, capable de tout enchaîner en une même formule, et pour laquelle, dès lors, rien ne serait incertain ?

Comment pouvons-nous concevoir une complexité que nous attribuons volontiers à quelques réalités tenues pour inconcevables sinon inexplicables par la raison humaine ? La méthode des paradoxes [3] - qu'il soient sémantiques ou auto-référentiels - s'est plus d'une fois avérée heuristique féconde : en explorant le Paradoxe de la Conception de l'Inconcevable peut-être parviendrons-nous à enrichir à la fois notre intelligence de la complexité [4] (concevoir la complexité) et notre intelligence de la conception (l'action de concevoir, et son résultat ; autrement dit : la complexité de la conception). La conjonction de ces deux entreprises nous aidera peut-être à mieux entendre, et à mieux relever, les défis de la complexité.

1. Concevoir la complexité

L'exercice semble nouveau pour la science : de Galilée à Einstein par Newton, Laplace ou Berthelot, ne s'est-elle pas efforcée, souvent avec un prodigieux succès, de pourchasser la complexité, de la réduire, de dévoiler sous la complexité des apparences, la simplicité - ou à défaut, l'explicable complication - des règles qui régissent les phénomènes naturels ou artificiels ? Rendre le merveilleux, banal [5] ; chasser le mystère de l'Univers, ainsi que le revendiquait Marcelin Berthelot à la fin du XIXe siècle, n'était-ce pas là la splendide vocation de la Recherche scientifique ? Pour servir cet objectif fondamental, quelques solides fondements épistémologiques se sont progressivement édifiés, de Descartes à Auguste Comte et au Cercle de Vienne, qui ont précisément axiomatisé la réductibilité du compliqué au simplifié et l'explicabilité causale de tous les phénomènes objectivables : fondements qui, niant peut-être la réalité de la complexité, n'incitaient guère les communautés scientifiques à la concevoir.

Science et complexité (W. Weaver, 1947)

La rupture est récente - et au demeurant contestée encore au moins dans son importance proprement scientifique. Chacun s'accorde (rétrospectivement) à la dater de 1947, date de la parution d'un article aujourd'hui célèbre de W. Weaver, au titre en effet prémonitoire :

«*Science et complexité*» [6] : les lecteurs attentifs de Paul Valéry ou de Gaston Bachelard (parmi bien d'autres sans doute) montrent aisément que quelques pionniers proposaient de reconnaître le caractère foncièrement scientifique du concept de complexité dès la fin du XIXe siècle ; mais ils n'étaient guère entendus de leurs contemporains. N'a-t-il pas fallu attendre le progressif mûrissement de la Science des systèmes et des «Nouvelles Sciences» qu'elle fédérât peu à peu, pour que le texte de W. Weaver connaisse, à partir de 1968 (vingt ans après !) l'audience que nous lui connaissons aujourd'hui.

Sans doute faudrait-il jalonner l'histoire de ce mûrissement de l'Intelligence de la Complexité au sein de la recherche scientifique contemporaine de quelques repères significatifs : les premières conceptions de la complexité substituaient volontiers au problème d'une définition formelle et générale, celui de la mesure de la complexité : si l'on dispose d'un modèle de mesure (et donc de comparaison) de la complexité d'un système, ne disposera-t-on pas ipso facto d'une définition conceptuelle satisfaisante et instrumentale ? Ce furent principalement les sciences de l'ingénieur, affrontant la conception ou la maîtrise de grands systèmes perçus complexes, qui, entre 1950 et 1980 développèrent quelques modèles de la complexité auxquels on est tenté de se référer aujourd'hui.

Les modèles de la variété cybernétique (R. Ashby)

Le modèle de la variété cybernétique implique une correspondance entre chaque comportement (ou «état») d'un système et une configuration (ou «réseau») des relations entre les processeurs présumés constitutifs de ce système : dans le cas, théorique - où l'on peut dénombrer ces processeurs, soit N , et où chacun d'eux peut être relié ou non d'une façon unique à chacun des autres, on sait mesurer simplement ce nombre de comportements possibles par la mesure de la variété de ce système, proposée par R. Ashby [7], puis généralisée peu après ($V = 2^{N^2}$). Si l'on accepte de tenir ce nombre de comportements différents possibles pour une évaluation de la complexité du système (une définition implicite, donc), on dispose d'un modèle - au demeurant fort simple - de mesure de cette complexité : il suffit de connaître N : le nombre de processeurs susceptibles d'être activés au sein du système considéré. Comment les identifier et les dénombrer de façon certaine ? (Le nombre de synapses du cerveau ? le nombre d'acteurs au sein de l'organisation ?). La théorie ici défaille ; il s'agit au mieux du nombre de choses tenues pour pertinentes par chaque modélisateur : son codage ! Ce modèle de mesure implique en outre que N

soit un nombre fini, et donc que le système soit fermé : le nombre de ses comportements possibles, et donc sa complexité, n'est dès lors pas infini.

Un des développements apparemment les plus tentants de ce modèle, celui de la définition de la complexité différentielle, n'a pas encore fait l'objet, semble-t-il, de travaux significatifs : ce n'est pas tant à la complexité en valeur absolue que s'intéresse en général un projet d'intervention sur un système, qu'à la complexité instantanée : combien de comportements différents est-il susceptible de manifester dans l'instant suivant : $\Delta V / \Delta t$ [8] ? Ce sera même souvent le signe de ce différentiel qui intéressera l'intervention : le système est-il en complexification croissante, ou décroissante ? (On retrouvera cette idée lorsque l'on évoquera la modélisation - déjà suggérée par W. Weaver - de la complexité par l'organisation).

Le modèle de la mesure statistique de la complexité (C. Shannon)

Le modèle de la complexité informationnelle (ou thermodynamique) fonde la complexité sur la fréquence des occurrences des comportements singuliers : il permet donc d'affiner le modèle d'Ashby, en prenant en compte la non-équiprobabilité des occurrences des comportements possibles : on passe en quelque sorte d'une complexité théorique concevable à une complexité pratique observable. «*La quantité d'information dans un système est une mesure de son degré d'organisation*» écrivait déjà N. Wiener dans son introduction de «*Cybernetics*» (1948, p. 11). Il n'est pas surprenant que ce soit W. Weaver qui, peu après avoir écrit son article «*Science et complexité*», ait perçu la généralité de la théorie mathématique de la communication que venait de publier C. Shannon [9]. La mesure shannonienne de la quantité d'information susceptible d'être transmise ou perdue dans un système suggère en effet une évaluation de ce qui semble être la complexité de ce système. Rares sont pourtant les chercheurs qui ont exploré avec soin la pertinence de cette métaphore reliant l'information transmise ou manquante à la complexité. Sans doute parce que le modèle de Shannon se présentait lui-même par une analogie fascinante avec un des modèles fondamentaux de la thermodynamique, celui de la mesure de la fonction d'Etat (ou de l'Entropie) d'un système, élaboré au siècle dernier par L. Boltzmann : la correspondance intuitive entre la valeur de la fonction d'Etat (... thermodynamique) d'un système et sa complexité semble en effet aller de soi : la fonction d'Etat ne se détermine-t-elle pas à partir du nombre de complexions différentes que l'on est susceptible d'observer dans un système et des probabilités d'occurrences de chacune

de ses complexions ? Ce modèle ne nous montre pas plus comment l'observateur détermine de façon certaine ces complexions (les configurations de processeurs, dans le modèle dit d'Ashby) que ne le faisait le précédent. Mais il introduit explicitement dans l'évaluation de la complexité, la prise en compte de la distribution en probabilité des occurrences des comportements (ou des états), et donc la prise en compte de leur incertitude relative ... pour un observateur. Cet argument va progressivement s'avérer essentiel dans la conception contemporaine de la complexité.

Le modèle de la complexité des réseaux (Marcus)

Le modèle de la complexité communicationnelle (ou des réseaux d'interconnexion) s'est développé au début des années 1970, à l'interface entre les deux précédents. Il a conduit à une théorie mathématique de la complexité [10] qui se propose d'évaluer la dimension d'un système (le nombre de processeurs N, par ex.) en fonction du niveau de performances qui lui est demandé (combien de centraux d'interconnexion téléphonique faut-il installer dans un réseau pour assurer effectivement au moins 98 % des demandes d'appel des abonnés de ce réseau, par exemple ?). C'est sans doute le changement d'échelle provoqué par le passage des interconnexions entre humains aux interconnexions entre ordinateurs à très grands débits de traitement, qui a provoqué l'accélération des recherches dans ce domaine, toutes fondées sur des travaux initiaux de C. Shannon - Jean Voge, dans une belle étude sur l'économie des réseaux et l'économie de la complexité [11], a mis en valeur la pertinence de leur principale conclusion formelle : pour connecter N processeurs, il n'est peut-être pas nécessaire de disposer de N^2 processeurs de connexion : il peut suffire de disposer d'un nombre de connecteurs qui soit de l'ordre de $N \cdot \log N$. Cette décomplexification structurelle, à niveau de performance fonctionnelle donné, suggère une conception instrumentale de la complexité d'un réseau qui va durablement intéresser les concepteurs de systèmes.

Le modèle de la complexité computationnelle (H.A. Simon [12])

Le modèle de la complexité computationnelle est sans doute le plus récent - et peut-être le plus puissant - des modèles d'évaluation de la complexité d'un système : il s'est développé à partir de 1974 et connaît aujourd'hui une grande vitalité dans le champ du génie logiciel (software-engineering) notamment, à partir de questions du type : peut-on évaluer la

complexité d'un programme informatique, et suggérer des méthodes de conception d'algorithme et d'écriture de programmes qui conduisent à des objets d'une complexité tolérable sinon faible (que cette complexité opérationnelle soit évaluée en coûts de maintenance ou en durée relative de calculs) ? L'idée de départ est de prendre en compte le changement d'ordre de grandeur de la complexité d'un système provoqué par les «relations bouclantes». Tant que les traitements (ou les computations) se font en cascade, sans retour en arrière (feed-back, itération), les comportements d'un système sont perçus comme intuitivement prévisibles (ou au moins aisément calculables par déduction séquentielle, éventuellement longues, mais mécanisables et prévisibles). On parlera d'ailleurs volontiers de système compliqué pour décrire de tels réseaux arborescents de grande taille. Dès qu'apparaît une relation de bouclage (ou de retromettance), on perçoit intuitivement que le comportement du système risque de devenir sinon imprévisible, au moins contre-intuitif ^[13] : la seule façon d'identifier les comportements susceptibles d'intervenir semble être de simuler - ou de faire fonctionner - le système considéré - méthode parfois onéreuse, voire dangereuse, rappelant celle de l'apprenti sorcier incapable de maîtriser le processus qu'il a déclenché. L'identification de ces relations de «bouclage» (création d'alternatives, générant d'éventuelles actions d'itération ou de concaténation), et leur dénombrement va susciter un certain nombre de formalismes qui visent à rendre compte de la complexité d'un système de calcul (entendu comme le modèle par un système d'un phénomène quelconque). Cette représentation-évaluation de la complexité computationnelle d'un programme informatique va susciter, par propagation spontanée, quelques généralisations à l'évaluation de la complexité d'un algorithme exprimables par divers programmes puis de la complexité d'un problème susceptible d'être résolu par divers types d'algorithmes.

Mesure de l'hyper complication plutôt que de la complexité

Cette exploration succincte des principales conceptions de la complexité (entendue positivement comme une propriété évaluable d'un système modélisable), dégagée par quelques uns des grands courants de la Recherche scientifique contemporaine ne suffit manifestement pas à épuiser l'intelligence que chacun se fait de la complexité dès lors qu'il considère ces problèmes familiers que sont les Rapports Nord-Sud (ou Est-Ouest) ... ou les relations affectives, productives et cognitives de deux êtres humains engagés, par exemple, dans une même action. Ces formalismes,

même s'ils éclairent pour nous certaines facettes de la complexité (les seuils de taille, l'effet des inter-relations, le rôle des relations de bouclage, la dépendance à l'aléa et à l'incertain ..., ne suffisent manifestement pas à nous permettre de «décrire» les perceptions que nous en avons. Ils postulent tous quelque hypothèse de fermeture du modèle et de dénombrabilité de ses composants, si bien qu'ils permettent plus correctement une évaluation de l'hyper-complication d'un système observé (indépendamment de son observateur) que de sa complexité ... entendue au sens en effet «complexe» qu'on lui attribue habituellement.

C'est ce constat qui a conduit la recherche épistémologique contemporaine à renouveler les modes de représentation de la complexité à partir d'une observation et d'un postulat.

La complexité dans le code, et pas dans la nature des choses

L'observation est familière : bien des phénomènes initialement perçus complexes (quasi inintelligibles ou non correctement représentables) semblent devenir soudainement compréhensibles dès lors que les modélisateurs «changent de codes» pour les décrire, ou pour décrypter le code par lequel ils les lisent : l'ellipse, l'électron ou la fonction d'onde semblent être des concepts inventés par l'Homme pour représenter simplement des phénomènes perçus complexes, tout comme la force, l'énergie ou la puissance ^[14]. Dès lors que nous le décrivons à l'aide de tel nouveau code (ou langage) purement conceptuel, il apparaît que nous nous tenons pour intelligible, voire pour simple, tel phénomène hier inextricablement complexe. L'orbite de la planète Mars que Kepler s'acharnait à déterminer, au prix de 900 pages de calculs, par l'équation d'une épicycloïde particulièrement complexe ... devenait soudain aisée à décrire et à interpréter dès lors que l'on substituait au code ptoléméen et copernicien des sphères célestes (des cercles tournant dans des cercles, tournant autour de ...) le code de l'ellipse : mais quelle audace pour accepter ce changement de code : ne fallait-il pas renoncer à la «divine symétrie» du cercle ! Aujourd'hui pourtant, la première loi de Kepler («Les orbites des planètes sont des ellipses dont le soleil occupe un des foyers») rend compte de façon merveilleusement intelligible d'un phénomène qui, jusqu'au XVIIe siècle était tenu pour étonnamment complexe (que l'on pense aux mouvements apparemment rétrogrades, pour un observateur terrestre, de certaines planètes).

De tels exemples sont légions, et admirables. H.A. Simon aime évoquer ^[15] la joie de Simon Stevins découvrant les lois du plan incliné qui

permettaient de représenter de façon compréhensible le bien surprenant équilibre d'une chaîne laissant quatre maillons d'un côté de la poulie et deux seulement de l'autre : un changement de code dans la représentation de l'équilibre, par la prise en compte de l'angle des plans, et la complexité se transforme soudain pour l'observateur : «Merveilleuse mais intelligible». Faut-il évoquer le cas du décryptage d'un message présumé chiffré : la complexité décourageante de sa traduction devient soudain parfaitement intelligible dès que l'observateur dispose du «chiffre». Les recherches sur la Cryptographie sont ici d'autant plus pertinentes pour notre propos qu'elles mettent en valeur le caractère fondamentalement artificiel du processus de codage : la cryptographie en effet recherche initialement des modes de recodage qui complexifient aussi inextricablement que possible les messages que peut connaître un observateur ; pour lui la complexité semble tenir à la nature du message, aussi longtemps qu'il ne dispose pas d'un «chiffre» de décodage : il tient donc cette réalité pour intrinsèquement complexe ! Dès qu'il est informé de ce qu'il s'agit d'un message chiffré, la complexité ontologique du message s'efface, au profit de la complexité de la quête du code : laquelle risque de s'atténuer ou de se transformer dès lors que cette complexité est entendue comme conçue, délibérément, (et donc calculée, ou computed) par un autre observateur au moins.

S'il nous faut admettre que la complexité d'un système n'est pas nécessairement une propriété de ce système (qu'il soit naturel ou artificiel), ^[16] mais une propriété de la représentation actuellement disponible de ce système, lui-même décrit dans un ou plusieurs codes (ou langages), notre représentation de la complexité se transforme, et avec elle les modes d'appréhension que nous pouvons nous en donner : par construction la complexité la plus inextricable devient à la lettre concevable, puisqu'elle est construite par un cryptographe au moins, qui peut être nous-même : la complexité est entendue dans le code, et non dans «la nature des choses».

Un postulat d'ambiguïté délibérée de la modélisation

Cette conception cryptographique de la Complexité suggère - et peut-être nécessite - un postulat dont les prémices épistémologiques sont aujourd'hui encore parfois difficiles à accepter : Si la complexité n'est pas dans la nature des choses (lesquelles ne seraient ni simples, ni complexes ... au mieux indifférentes aux interrogations de l'observateur), elle résiderait dans le modèle que l'observateur se construit du phénomène qu'il tient pour complexe. Et puisque c'est l'observateur qui choisit le code

(les schèmes d'encodages) par lequel il modélise ce phénomène, la complexité deviendrait une propriété du système - lui complexe - constitué par l'observateur modélisant le (et conjoint aux) modèles qu'il construit (qu'il «encode»). La complexité dès lors n'est plus propriété du système observé, mais du Système Observant. C'est, je crois, H. Von Foerster qui a le plus explicitement mis en valeur la pertinence et la portée de ce postulat implicite de toute modélisation de la complexité ^[17] : on peut donc ici restreindre l'argumentation à cette référence essentielle. Peut-être faut-il pourtant souligner l'audace de ce postulat : Y. Ekeland par exemple (qui le récuserait sans doute) le met indirectement en question en suggérant combien il aurait peut-être compromis les chances de Kepler de trouver un bon code : «*Le débrouillage des orbites planétaires a requis infiniment plus de patience que celui d'une ligne enchevêtrée avec ses hameçons ... Encore le pêcheur, qui a vu filer droit sa ligne en la mettant à l'eau, a-t-il quelques raisons de croire qu'elle peut être démêlée s'il la remonte enchevêtrée. un Ptolémée ou un Kepler n'ont pour soutenir leur effort qu'une foi conquérante en l'harmonie cachée du cosmos*» ^[18]. Le postulat du Système Observant privera le prochain Kepler (celui qui proposera peut-être un autre code transformant notre intelligence de la complexité des galaxies), de cette foi conquérante en une mystérieuse et complexe harmonie du cosmos : elle n'existe peut-être pas ... dans le cosmos, si elle peut exister ... dans les représentations que nous nous en forgeons.

Le nécessaire et le possible, le compliqué et le complexe

Ainsi, si l'on ne peut aisément concevoir la complexité d'un système fermé et disjoint de son observateur et des codes d'observation autrement que de façon appauvrie (une complexité restreinte à une complication, complication éventuellement réductible, par mutilation ou décomposition successives, à une hypothétique loi de nécessité), on doit pouvoir, en revanche, concevoir la complexité d'un système observant capable à la fois de conjonction cognitive (construction codée de modèles) et de création de codes. Cette conception de la complexité sera peut-être plus aisée si l'on présente de façon plus instrumentale le postulat de la complexité de la modélisation ; Ne s'agit-il pas d'un postulat d'ambiguïté délibérée de la correspondance active entre le phénomène modélisé et le modèle établi par le Système observant ? :

- Parce que ce phénomène est présumé inépuisable, et donc irréductible à un modèle aussi compliqué soit-il, le modèle déclaré complexe de ce phénomène sera, pour le modélisateur également inépuisable : il ne

décrit sûrement pas «le tout» du phénomène modélisé, mais il décrit peut-être «plus» que ce phénomène.

– Parce que le phénomène considéré n'est peut-être pas nécessaire, mais occurrence actuelle d'un possible potentiel en son sein, le modèle ne sera pas établi par une analyse présumée fidèle et objective du phénomène positivement observable, mais par la «projection»^[19] du dessein du modélisateur : c'est cela, précisément, que l'on appelle la conception.

– Parce que «la moindre parcelle de matière est aussi un fragment d'histoire»^[20], le modèle du phénomène devra porter en lui cette invisible potentialité : Potentialités - et donc mémoires - que le Système Observant se devra d'inventer, délibérément, puisqu'il sait qu'elles ne sont peut-être pas encore conçues ! : Source d'une extrême complexité possible, tant bien des possibles sont à tout moment concevables.

La méthode de complexité

Ainsi développé, ce postulat porte en lui-même le germe de la méthode de modélisation qu'E. Morin a proposé d'appeler La Méthode de Complexité : Comment peut-on concevoir un modèle d'un phénomène qui l'exprime sans l'épuiser, et qui rende compte de ses complexités possibles par une complexité intelligible ? Il autorise en outre une définition générique de la complexité qui synthétise peut-être l'essentiel des arguments que l'on a considéré jusqu'ici, à partir d'une très puissante formule de Paul Valéry : «*La Complexité est l'Imprévisibilité Essentielle*»^[21].

La complexité : l'imprévisibilité essentielle

La Complexité est la propriété d'un système modélisable susceptible de manifester des comportements qui ne soient pas tous pré-déterminables (nécessaires) bien que potentiellement anticipables (possibles) par un observateur délibéré de ce système.

Cette définition suggère une méthode d'évaluation conceptuelle de la complexité instantanée d'un système (une «mesure» de la complexité), par la mise en correspondance :

- du nombre de comportements possibles de système (éventuellement pondérés par leur probabilité d'occurrence).
- au nombre de comportements de certains (ou pré-déterminables de façon certaine) de ce système.

Que l'on présente le paradigme de «La Complexité par le Bruit», dans les termes où l'ont développé H. Von Foerster, H. Atlan, J.P. Dupuy, ou, plus généralement peut-être encore «le paradigme de l'hyper-complexité» dans les termes où la développe à nouveau E. Morin^[22], on dispose aujourd'hui d'un mode de représentation plus potentiel encore qu'actualisé) des phénomènes qui n'épuise pas, et qui ne mutile pas, l'ambiguïté, l'imprévisibilité et donc la complexité des phénomènes : une complexité désormais concevable. Il faut, en tenant l'exposé de ce paradigme pour acquis, l'interpréter maintenant en terme de méthode : La Méthode de Complexité est d'abord Méthode de Conception de Modèles Complexes.

2. Complexité de la conception

Si la complexité est dans la modélisation du phénomène tenu pour complexe, nous sommes en effet conduits à nous interroger sur la méthode de modélisation : la méthode de construction des représentations par lesquelles nous disposons d'une connaissance délibérée du phénomène ; une méthode de conception de modèles complexes ! Comment concevoir ? Qu'est-ce que concevoir ? : N'est-ce pas «le problème du concepteur» ?

Le problème du concepteur

«Le problème de l'observateur-concepteur nous apparaît comme capital, critique, décisif ... Il doit disposer d'une méthode qui lui permette de concevoir la multiplicité des points de vue puis de passer d'un point de vue à l'autre. Il doit disposer de concepts théoriques qui, au lieu de fermer et d'isoler les entités, lui permette de circuler productivement. Il doit concevoir en même temps l'individualité des êtres machinaux et les complexes de machines interdépendantes qui les associent ... Il a besoin aussi d'une méthode pour accéder au méta-point de vue sur les divers points de vue, y compris son propre point de vue de sujet inscrit et enraciné dans une société. Le concepteur est dans une situation paradoxale ...»

E. MORIN (1977, p. 179)

La quête d'une méthode de conception de la complexité a suscité une réflexion sur la conception de la conception qui s'est développée et assurée au sein de la science des systèmes depuis les années 1947-1952 au cours desquelles furent publiés les textes fondateurs de W. Weaver, C. Shannon,

N. Wiener, L. Von Bertalanffy, R. Ashby, H.A. Simon ... Cette recherche s'est progressivement développée autour de deux paradigmes dont on comprend mieux aujourd'hui combien ils s'articulent mutuellement : Ils étaient l'un et l'autre explicitement présentés par W. Weaver en 1947 comme les deux nouveaux développements qui s'avèreront d'une importance décisive pour aider la science à affronter la complexité des problèmes du XXe siècle. Dans les termes plus familiers aux discours scientifiques des années quatre-vingt, je suggère de les désigner :

- dans un référentiel conceptuel par : le paradigme de l'Organisation
- et dans un référentiel plus instrumental par : le paradigme de l'Intelligence.

Le paradigme de l'organisation

Si W. Weaver avait fort bien vu (ou retrouvé ^[24]) la puissance de la notion essentielle d'organisation (the essential feature of organization) pour représenter sans les mutiler (to oversimplify) les phénomènes perçus complexes, il n'avait pas exploré ni discuté toute sa fécondité : nous devons à E. Morin cette exploration profonde, aujourd'hui magistralement présentée par «La Méthode» : dès le tome 1 (qui paraît trente ans après l'article de W. Weaver), il apparaît que les concepts théoriques dont doit disposer le concepteur en quête d'une méthode qui lui permette de concevoir sont ceux du Paradigme de l'Organisation, désormais solidement campés dans leurs articulations mutuelles. On en les reprendra pas ici, sinon pour souligner ce qui constitue peut-être une des valeurs ajoutées les plus importantes apportée par le paradigme Morinien ^[25] de l'Organisation au concept scientifique de Complexité restauré initialement par W. Weaver : ce dernier proposait de représenter la complexité en la tenant pour une complexité organisée ; ne peut-on proposer aujourd'hui un élargissement conceptuel, parfaitement légitimé par la théorie de l'Organisation ^[26] : la modélisation de la complexité passe par l'intelligence de la complexité organisante : active, produisant elle-même sa propre intelligibilité sans s'enfermer dans une tranche de temps ou d'espace ? Une complexité organisante parce que organisée, et réciproquement. Nous disposons désormais d'un cadre conceptuel élargi que nous livre - sans paradoxe - le concept complexe et intelligible d'Organisation reformulé par E. Morin ^[27].

Concevoir, c'est organiser ; une conception est une organisation, organisée et organisante ; un modèle ne peut se réduire à un schéma organisé, aussi fin soit-il ; il nous faut le construire et le lire dans sa

potentialité organisatrice : il doit être organisant s'il prétend rendre compte de la Complexité perçue (l'essentielle imprévisibilité) du phénomène modélisé.

Et si concevoir, c'est organiser, puisque nous faisons de l'organisation le concept noyau de la complexité, alors en effet, dans cet entendement, nous concevons la conception comme un acte complexe produisant un résultat (le modèle) complexe. Acte complexe, mais intelligible, puisque organisation.

Sur sa face conceptuelle, la théorie de la conception nous renvoie à la théorie de l'Organisation et donc au paradigme morinien de la complexité.

Le paradigme de l'intelligence

Le passage du «Qu'est-ce concevoir ?» au «Comment concevoir ?» va nous conduire à mettre en valeur la face instrumentale de la théorie de conception. Nous devons nous proposer quelques modèles (programmables et donc susceptibles d'être interprétés par simulation) des processus cognitifs par lesquels le concepteur-modélisateur élabore cet artefact complexe que doit être le modèle-organisation d'un phénomène présumé complexe. De façon remarquablement prémonitoire (car en 1947, la notion de système de computation émergeait à peine ^[28], W. Weaver avait souligné la fécondité instrumentale que devait connaître la représentation des processus cognitifs par les appareils de computation (computing devices)? Peu après, dans les années 1952-1957, la simulation des processus cognitifs se développait à l'initiative décisive de H.A. Simon et A. Newell, se transformant rapidement en une discipline que l'on désigne volontiers depuis 1956 sous le nom d'Intelligence Artificielle, (elle-même peut-être en passe de se fédérer au sein de la nouvelle science de la cognition ^[29]). H.A. Simon allait peu à peu organiser sa problématique transdisciplinaire en un paradigme cohérent qu'il propose de désigner «*Le Paradigme du Système de Traitement de l'Information*» ^[30]. On ne trahit pas son intention générale en le présentant aujourd'hui comme le Paradigme de l'Intelligence puisque l'Intelligence se représente précisément par un système d'actions de traitements de symboles (ou d'informations) et par le résultat de ces actions. Traiter des symboles c'est précisément les computer. Quels types de computation peut-on mettre en œuvre, quelles correspondances peut-on établir - ou escompter - entre telles règles de computation et tels résultats (production de nouveaux symboles) ? : C'est à des questions de ce type que s'attache l'Intelligence Artificielle aujourd'hui.

C'est aussi, observera H. Simon, par des questions de ce type que l'on peut représenter le processus cognitif d'un Système Intelligent en train de concevoir. La métaphore de la composition musicale – ou picturale – servira souvent à illustrer ce point : le compositeur – ou le peintre – exercent la même activité cognitive que le concepteur-modélisateur : ils conçoivent un modèle à partir de et en manipulant des symboles ... et non pas en analysant ou décomposant d'abord une réalité indépendante d'eux-mêmes qu'ils prétendent représenter.

Cette interprétation computationnelle de la conception d'un modèle conduira H. Simon à définir une Science de la Conception («*A Science of Design*») qui fera son objet des méthodes de définition et de traitement de symboles susceptibles d'intervenir dans les diverses phases de la conception de modèles (des modèles qui portent en eux-mêmes leur propre processus de potentialisation des modèles possibles du phénomène perçu complexe).

Multi-rationalité de la conception : les rationalités procédurales

On ne peut ici présenter dans son architecture d'ensemble ce paradigme de l'Intelligence (... de la Conception ... et de la Complexité !) pas plus que l'on ne pouvait précédemment réexposer ici le paradigme de l'Organisation (... de la complexité et de la conception). Mais dans la mesure où il est sans doute encore peu familier aux lecteurs de cette étude, on doit convenir qu'il n'en existe pas encore d'exposé synthétique d'ensemble bien que les matériaux en semblent aujourd'hui à peu près rassemblés, par la conjonction des grands concepts piagétiens de la Psychologie et de l'Epistémologie Génétique (notions de constructions de schèmes d'encodages par assimilation et accommodation ...) et des concepts simoniens des Sciences de la Cognition et de la Conception (les grandes fonctions de toute computation de symboles physiques, par conjonction - création et induction de patterns de symboles -, comparaison, déplacement, association - et par disjonction - branchement, duplication, distinction, destruction ; les principales stratégies de computation (ou de résolution en référence aux intentions du modélisateur ; l'identification des procédures possibles par combinaison des opérateurs de computation, conduisant à la sélection de multiples heuristiques de résolution ...).

Cette interprétation computationnelle de la conception de modèles permet de proposer une méthode (une instrumentation) qui rende au moins possible la production de complexité au sein des modèles : s'ils sont conçus comme construits à l'aide de symboles, par des symboles

computants, et donc comme simulables par computation, ils retrouvent les conditions d'ouverture (de potentialisation) par lesquelles nous reconnaissons la complexité possible du phénomène modélisé.

Par un paradoxe apparent, que H. Simon soulignera volontiers, les modèles de la complexité ainsi conçus seront «relativement simples», ou plus correctement, aisément intelligibles. Une fois formulée, après induction d'un schème d'encodage artificiel, l'ellipse, la première loi de Kepler est aisément intelligible : la multiplicité des caractéristiques possibles pour les trajectoires elliptiques d'une planète n'est pas détruite par cette intelligibilité : peut-être même est-elle suggérée au modélisateur, ainsi en situation d'inférer la complexité potentielle de son modèle apparemment simple. Mais, et peut-être surtout, c'est la multiplicité des raisonnements possibles (ou des procédures de mise en œuvre des opérateurs de computation disponibles) qui va s'avérer à la fois féconde, (il est bien des façons de résoudre un problème complexe, et il en est rarement une qui puisse être tenue pour plus rationnelle ou meilleure que les autres), et complexifiante (puisque développant le potentiel des solutions possibles !). H. Simon l'a souvent montré (mais il n'a pas encore été souvent entendu), l'interprétation computationnelle des processus cognitifs d'intelligence et de conception, implique une redéfinition de notre conception traditionnelle de la rationalité, de la rationalité «objectale» (ou «substantive») à la rationalité «procédurale». A cette condition, la complexité, tenue pour insoluble dans une rationalité objectale (ou unique, ou «suprême»), devient intelligible, et exprimable par une rationalité procédurale, ou instrumentale : la ruse n'est-elle par un bel exercice de la raison ?

L'organisation de la complexité est computationnelle

Cette présentation du Paradigme de l'Intelligence de la Complexité nous entraîne rapidement, on le vérifie à nouveau, dans le champ épistémologique qu'annonçait E. Morin lorsqu'il identifiait le problème du concepteur. On ne peut ici les explorer plus avant, mais on doit, en achevant cette discussion des deux faces de la complexité de la conception, sa face organisationnelle (en référence au paradigme Morinien) et sa face computationnelle (en référence au paradigme Simonien), souligner combien elles s'imbriquent aisément en terme méthodologique : il suffira sans doute pour convaincre de rappeler le soin scrupuleux avec lequel E. Morin a tenu à associer au concept d'organisation, dès qu'il l'a réintroduit dans sa généralité, les concepts conjoints d'information, de computation et de communication.

*L'imprévisibilité essentielle du modèle
conçu par un système intelligent*

Peut-être alors conviendra-t-on du plaisant paradoxe de «la conception de la conception», cet acte fascinant par lequel un système intelligent crée, ex nihilo cet objet artificiel construit à l'aide de symboles également artificiels qui est un modèle : il s'entend comme un acte d'une insondable complexité (Imprévisibilité essentielle du modèle conçu, qu'il soit fugue, ou tableau, ou poème, ou plan d'entreprise, ou support d'un raisonnement de décision, ou résolution d'un problème confus.) Et entendu dans sa complexité, il nous devient alors intelligible précisément parce qu'il nous a permis de concevoir l'intelligibilité de la complexité.

Conclusion : le défi de la complexité est un défi épistémologique

Les défis, désormais familiers, de la Complexité à nos sociétés contemporaines justifient une sorte de sursaut passionné de la Recherche Scientifique, d'autant plus interpellée qu'elle peut considérer que bien des problèmes ont été dramatiquement complexifiés par les solutions trop simplificatrices qu'elle leur a proposées antérieurement.

La complexité n'est pas le mal absolu

«... La complexité n'est pas ce mal absolu que pourchasse la belle rationalité française au nom de la clarté, de l'homogénéité et de l'Universalisme. C'est au contraire la reconnaissance de la richesse et de la diversité des organisations de toutes tailles et de toute nature ...»

J. MELESE (1979), VERS L'ENTREPRISE A COMPLEXITE HUMAINE

On comprend que ce sursaut commence - et s'accompagne - d'un effort de remise en question : qu'est-ce donc cette complexité qu'apparemment nous maîtrisons mal alors qu'il semble que nous la produisons par l'enchevêtrement de toutes les entreprises collectives de nos sociétés (et en particulier de nos entreprises scientifiques et technologiques) ? Quelle est (ou quelles sont) la (ou les) conceptions(s) de la complexité contemporaine que la recherche scientifique peut et doit considérer ? Une exploration succincte des «théories classiques de la complexité» actuellement disponibles (cybernétique, informationnelle, communicationnelle, computationnelle) nous révèle le caractère relativement fermé de ces constructions : on trouve de (précieuses) théories

de la complication ou de l'hypercomplication, mais on ne trouve pas de théories prenant en compte l'imprévisibilité essentielle des phénomènes perçus complexes. En parallèle se développent, surtout depuis une dizaine d'années quelques conceptions plus «ouvertes» de la complexité que l'on propose de repérer à partir de deux hypothèses argumentées :

1. La complexité n'est peut-être pas «dans la nature des choses», mais dans les représentations que nous en construisons (la conception cryptographique de la complexité) : la complexité est une propriété du système observant (au sens de H. Von Foerster) et pas du système observé.
2. La complexité résulte du postulat d'ambiguïté délibérée de la correspondance active entre le phénomène modélisé et le modèle établi par le système observant.

Cette conception ouverte conduit à privilégier la conception des séquences de comportement possibles (potentiels) dans la représentation du phénomène présumé complexe, plutôt que l'analyse de la séquence des comportements tenus pour nécessaires (actuels) : changement de point de vue qui suggère une intelligibilité concevable de la complexité, dès lors modélisable sans être nécessairement simplifiée et donc mutilée.

Cette conception renouvelée de la complexité conduit à considérer les instrumentations de sa modélisation à la fin d'intervention : on doit alors s'interroger sur les processus même de conception («Design») d'un modèle présumé complexe. Et donc questionner les conceptions que nous pouvons avoir d'une telle conception de modèle ? La science des systèmes nous propose aujourd'hui deux ordres de réponses mutuellement articulés, qu'avait déjà perçu W. Weaver invitant, dès 1947, la Science à affronter la représentation de la complexité du XXe siècle :

- Un entendement de la conception (de modèles) en tant qu'Organisation (L'action d'organiser et son résultat) qui nous conduira à transformer le concept de «complexité organisée» introduit par W. Weaver en un concept de «complexité organisante».
- Et un entendement de la conception (de modèles) en tant qu'exercice de l'intelligence, exercice d'un système de computation de symboles, autoproducteurs de symboles ... et donc de modèles potentiels au sein du modèle actuellement conçu. Les concepts instrumentaux que dégagent l'intelligence artificielle, puis la science de la cognition, peuvent ici être mobilisés pour éclairer l'action de la conception de modèles, et justifier l'explicitation d'une épistémologie de la science de

la conception (a Science of Design) ... au service de la conception de la complexité.

Quelles que soient les entrées que l'on peut retenir pour actualiser les termes du rapport «Science et Complexité» remarquablement posés par W. Weaver il y a quarante ans, nous devons convenir de la pertinence – et peut-être de l'urgence – d'une remise en question assurée des référentiels épistémologiques à partir desquels une conception scientifique de la complexité peut introduire une intelligibilité active de l'action délibérée dans et par un système complexe – et intelligent.

Le défi de la complexité est aussi un défi épistémologique : en repérant les conceptions que la science peut proposer de la complexité, on a sans doute repéré quelques pièces des méthodes de conception de la complexité et donc quelques pièces de La Méthode de complexité. Le défi de la complexité, ainsi entendu, se relèvera alors par plus de complexité ... autrement dit par plus de conception créative de réponses multiples et intelligibles. Il nous faudra, pour cela passer d'une épistémologie qui fonde la science sur des objets, compliqués peut-être mais réductibles par l'analyse comme nous y invitait, depuis trois siècles, «Le Discours de la Méthode», à une épistémologie qui fonde la science sur des projets, complexes sans doute mais intelligibles par l'acte même de concevoir. C'est dans ces termes que Paul Valéry nous introduisait à «La Méthode de Léonard de Vinci» : peut-être importe-t-il de le relire si nous voulons relever les défis de la complexité.

P.S. L'essentiel de cette étude a été présenté lors d'une conférence organisée (*) à Milan, le 25 octobre 1984, sur «les défis de la complexité». Soit cinq cents ans exactement après qu'une grande épidémie de peste se soit déclarée à Milan (été 1484) tuant quelque cinquante mille personnes. Dès l'automne 1484, Léonard de Vinci relevait le défi de la complexité (On devine la complexité des problèmes suscités par de telles épidémies accompagnées de violences, et de pillages incroyables, dans une ambiance d'impuissance désespérante) : il entreprit la conception d'un projet d'urbanisme qui devait mettre la population à l'abri des contagions : cité imprévisible alors, qui prévoyait déjà ... le tout-à-l'égout !

(*) On doit aux organisateurs des conférences de Milan sur «Les défis de la complexité», G.L. Bocchi et M. Cerutti, l'édition des actes en un ouvrage (en italien) d'un très grand intérêt pour notre propos : «La Sfida della Complessità», Feltrinelli Ed., Milano, 1986.

Notes et références

[1] Edgar MORIN, «*La Méthode - tome I*» (1977), page 386. Cette formule constitue pratiquement la conclusion du tome 1 de «*La Méthode*», et peut être considérée comme une introduction des tomes suivants.

[2] On se souvient de la célèbre formule de LAPLACE, qui symbolise le «*triomphe de la Mécanique*» à l'aube de la science triomphante du XIXe siècle : «*Une intelligence qui, pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'Analyse, enchaînerait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'Univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle ...*».

[3] «*La Méthode des paradoxes*» m'a été suggérée par une célèbre étude de R. RUYER sur les paradoxes : «*Paradoxes de la Conscience*», Ed. Albin Michel. Paris 1966. J'en ai illustré l'utilisation dans une recherche intitulée «*Les Paradoxes de l'Ingénieur*», publiée dans la revue «*Culture Technique*», n° 12, mars 1984. Des paradoxes de l'ingénieur aux paradoxes de la conception de l'inconcevable complexité, il n'y a d'ailleurs qu'un pas que l'on a ici aisément franchi. Voir aussi le chapitre VI de la nouvelle édition de «*Le Paradoxe et le système*» d'Y. BAREL, P.U.G., Grenoble, 1989.

[4] «*L'intelligence de la Complexité*» («*The intelligence of complexity*») est le titre d'une autre étude sur la complexité, présentée au colloque de Montpellier de l'Université des Nations Unies sur «*La Science et la Pratique de la Complexité*» (Mai 1984). - Version française publiée sous ce titre à «*La Documentation Française*», Paris, 1986. Bon nombre des développements auxquels on ne se référera qu'implicitement dans la présente étude sont présentés dans cet article.

[5] «*La mission fondamentale d'une science naturelle est de rendre banal le merveilleux, de montrer que la complexité correctement analysée est seulement un masque dissimulant la simplicité*», rappelle H.A. SIMON dans l'introduction de «*The Sciences of the Artificial*» (1969, 2d édition 1981 - The MIT Press).

[6] Le célèbre article de Warren WEAVER est paru dans la revue «*American Scientist*», vol. 36, pp. 536-544 - 1948. L'auteur précise que ce texte est basé sur le chapitre 1 d'un ouvrage intitulé «*The Scientists speak*», publié en 1947.

[7] Ross ASHBY : «*An Introduction to Cybernetics*», 1956. Chapman & Hall Ltd. (Réédition 1964 ; University paperbacks, Londres). R. ASHBY est souvent revenu sur l'importance de cette notion de variété pour l'étude des systèmes complexes. Un recueil de ses principaux articles sélectionnés par R. CONANT est désormais disponible : «*Mechanism of Intelligence*» (Intersystem Publications, Seaside - Cal. 1981). Voir en particulier l'étude «*Principles of the self organizing system*», p. 70.

[8] A ma connaissance, le concept de taux de variété n'a été développé à ce jour que par un élève de R. ASHBY, Van COURT HARE, dans un ouvrage intitulé : «*Systems analysis, a diagnostic approach*», Harcourt, Brace & World Publ., 1967 (dont il existe une traduction en langue française, chez Dunod Ed., Paris 1972). Voir p. 145 de la traduction française.

[9] C. SHANNON et W. WEAVER : «*The mathematical Theory of communication*». University of Illinois Press, Urbana, 1949, fréquemment réédité. Le titre du livre est aussi le titre du célèbre article de C. SHANNON ; publié initialement dans le «*Bell System Technical Journal*», Juillet et Oct. 1948. L'ouvrage est précédé d'une importante introduction de W. WEAVER : «*Recent contributions to the mathematical theory of communication*», introduction qui a beaucoup contribué au rayonnement de la théorie de C. SHANNON au-delà des cercles étroits des techniciens des télécommunications.

[10] «*La théorie de la complexité*» a été introduite sous ce nom ambitieux par N. PIPPENGER, dans un article de synthèse du «*Scientific American*» de 1978. Il s'agit plus correctement d'une «théorie des réseaux de connexion et de leur complexité», comme la désigne le plus connu sans doute de ses fondateurs, M. MARCUS, dans un article publié dans les «*Proceeding of the I.E.E.E.*», Vol. 65, n° 9, Sept. 77, pp. 1263-1271.

[11] Voir par exemple Jean VOGÉ : «*L'Economie de la Complexité*», communication au Colloque de l'U.N.U. (Montpellier - IDATE, Mai 1984) sur «*La Science et la Pratique de la Complexité*». («*La Documentation Française*», Paris, 1986).

[12] Voir par exemple : H.A. SIMON et J.B. KADANE : «*Problems of Computational Complexity in Artificial Intelligence*», publié dans «*Algorithms and Complexity : New Directions and Recent Results*», 1976, Academic Press N.Y. - pp. 281-299. Les Textes «historiques» les plus fréquemment cités pour dater l'apparition des théories de (la mesure de) la complexité computationnelle sont sans doute ceux de T. Mc CABE («*A Complexity Measure, I.E.E.E. Transactions*», vol. S.E. n° 4, Déc. 1976, pp. 308-320), de M. HALSTEAD («*Element of Software Science*», North Holland, N.Y., 1977).

[13] La notion d'effet contre-intuitif a été introduite par J.W. FORRESTER développant la famille de méthode de modélisation et de simulation connue depuis sous le nom de «*Dynamique des Systèmes*» : la simulation, à l'aide d'un modèle comportant des relations internes de bouclage, du comportement d'un système, peut rendre «visibles» des comportements qu'il aurait été difficile ou impossible de «déduire» par le seul calcul. Les «*longues chaînes de raisons toutes simples dont les géomètres ont coutume de se servir*» qu'évoquait R. DESCARTES dans le célèbre Discours de la Méthode sont «brisées» par les relations de bouclage. Dès qu'elles s'enchevêtrent, apparaissent des comportements que nulle «décomposition en chaînons de raisons toutes simples - causes ... effet» - n'aurait

permis d'anticiper. L. GERARDIN a judicieusement proposé d'appeler «nœuds de conflits» les processeurs au sein desquels se «rencontrent» relations de bouclages et relations arborescentes : on renvoie notamment à son étude «*Le compliqué et le complexe ; essai sur l'analyse de système*» (Groupe d'Etudes Prospectives. Thomson-CSF - Paris 1979) qui synthétise et généralise les travaux sur la complexité des modèles en réseaux représentables par des matrices structurelles. De façon peut-être plus instrumentale, l'ouvrage de J. WARFIELD «*Societal Systems : Planning, Policy and Complexity*» (J. Wiley, N.Y., 1976) propose une méthode de modélisation (I.S.M. : «*Interpretive Structural Modeling*») par les matrices structurelles plus souples que celle de la Dynamique des Systèmes, tout en restant limitée par les mêmes contraintes de «fermeture». Voir aussi dans le présent ouvrage l'article de M. J. AVENIER.

[14] L'argument de la dépendance de la complexité d'un modèle au «code» utilisé pour décrire le modèle est bien discuté et illustré par J. PEARL dans : «*Complexity and Credibility of inferred models*» («*International Journal of General Systems*» - 1978 - Vol. 4, pp. 255-264). Sur le fond, il est remarquablement présenté et discuté par H.A. SIMON dans un article intitulé : «*Complexity and the Representation of Patterned Sequences of Symbols*» (1972), republié dans «*Models of thought*». Yale University Press, 1979, pp. 292-306, et dans «*How Complex are Complex Systems ?*» dont on a lu une traduction dans le présent ouvrage.

[15] Dans «*The Sciences of the Artificial*» (1969-1981) en particulier (Cf. p. 4 la seconde édition dont la traduction française paraît chez Dunod, Paris, en 1990).

[16] H.A. SIMON n'accepterait peut-être pas volontiers ce postulat à la lettre : dans les quelques grands textes qu'il a consacrés à l'intelligence de la complexité (on cite fréquemment «*L'architecture de la complexité*», 1962, devenu le dernier chapitre de «*The Science of the Artificial*» ; on connaît moins les quatre articles qu'il a groupés sous le titre «*Complexity*» dans «*Models of Discovery*», 1977. D. Riedel Pub. Cy), il développe volontiers une argumentation différente : les systèmes très complexes n'étant pas très stables, nous avons peu de chances d'en rencontrer dans la nature : ils s'auto-décomposent (et donc s'auto-décomplexifient) par niveaux quasi indépendants. En conséquence, la modélisation doit privilégier la recherche d'une organisation par niveaux quasi décomposables, organisation qui ne sera donc pas véritablement complexe. La fécondité heuristique de cette hypothèse n'est pas à démontrer, H. SIMON en donne de nombreux exemples. Mais il est peut-être nécessaire de souligner son caractère proprement spéculatif : nous ne disposons pas de la preuve positive de l'instabilité de tous les systèmes complexes, et il n'est peut-être pas nécessaire de «croire absolument» à l'organisation de la Réalité en niveaux quasi indépendants, pour valider la représentation de cette Réalité par des modèles à niveaux multiples (Ajoutons que la multiplicité des niveaux n'implique peut-être pas nécessairement une forme de relation «hiérarchique» entre les niveaux). Cette «réserve»

épistémologique n'enlève rien à la pertinence méthodologique de l'hypothèse simonienne : toute modélisation qui suscite de l'intelligibilité est bienvenue. Elle n'est pas astreinte à constituer la bonne explication de la Réalité.

[17] Le titre du seul livre publié sous la signature de H. Von FOERSTER est «*Observing Systems*» (Intersystems Publications - Seaside - Cal. - 1981, 1984). Dans la préface à la seconde édition, H. Von FOERSTER précise qu'il a choisi ce titre parce qu'il souhaite que son contenu soit tenu comme une réponse aux «*Comment observer les systèmes*» tout autant qu'à la description «*des systèmes qui observent*». Ce recueil d'articles remarquablement sélectionnés et introduits par F. VARELA permet enfin un accès aisé à l'une des pensées les plus stimulantes de ce siècle.

[18] Yvar IKELAND : «*Le calcul, l'imprévu : les figures du temps, de Kepler à Thom*», Le Seuil, Paris, 1984, p. 18.

[19] Les problèmes posés par les traductions du mot «conception» révèlent peut-être quelques facettes de la riche complexité de ce concept : en français, «conception» traduit, de façon imparfaite, l'anglo-saxon «Design» (Je me suis expliqué sur cette imperfection dans la post-face à la traduction française de l'ouvrage de H.A. SIMON «*The Science of the Artificial*» : «*La Science des Systèmes, Science de l'Artificiel*», L'Epi, Ed., S.A. Paris 1974). L'italien traduit volontiers l'anglais «Design» par «Progetto» ou par «Progettazione» ... que l'on traduirait plus volontiers en français par «projection». Cette mise en valeur du «projet» et du «dessein» du modélisateur («projeteur») serait fort bienvenue pour compléter la signification du français «conception».

[20] La formule est d'Edgar MORIN, (dans un entretien avec J. ARDOINO), publié dans : «*Science et conscience de la complexité, avec Edgar MORIN*», C. ATIAS et J.L. Le MOIGNE Edr, aux «*Editions de la Librairie de l'Université*» d'Aix-en-Provence, 1984, p. 144. Ce même ouvrage publie notamment une étude d'E. MORIN : «*Epistémologie de la Complexité*» (pp. 47-80) qui a indirectement inspiré la présente réflexion. E. MORIN souligne volontiers par ailleurs (voir par exemple «*Science avec Conscience*», 1982, Fayard, Paris, p. 310) la part que doit cette interprétation fondamentale à l'une des thèses de I. PRIGOGINE : «*On ne peut comprendre un système complexe qu'en se référant à son histoire et à son parcours*».

[21] On a introduit et développé cette définition générale de la complexité, reprise de Paul VALERY, dans l'étude «*L'Intelligence de la Complexité*» présentée en note [4].

[22] On se réfère notamment à la contribution d'Edgar MORIN présentée au Colloque de Milan sur «*Le Défi de la Complexité*» (*Les avenues de la complexité*), oct. 1984, et à l'ouvrage «*Science et conscience de la complexité, avec E. MORIN*», mentionné en note [20]. Voir aussi, la conclusion du tome II de «*La Méthode*» 1980, pp. 434 +.

[23] Voir l'article de W. WEAVER (Cf. note [6] p. 541).

[24] Deux grands penseurs au moins avaient remarquablement compris et mis en valeur la puissance de la notion d'Organisation, au début du XXe siècle (entre 1900 et 1930) : on les redécouvre lentement aujourd'hui, souvent avec stupéfaction, tant ils avaient l'un et l'autre, dans des registres très différents, approfondi ce concept fort, alors obscurci sans doute par la prééminence de la notion de structure. Le premier est le russe A. BOGDANOV, dont on vient enfin de publier la première traduction - en anglais - des «*Essays in Tectology*» (due à G. GORELIK). Intersystems Pub. - Seaside - Cal. 1980. On a proposé une première interprétation de cette œuvre dans l'étude : «*Formalisation systématique de la Théorie de l'Organisation : Vers des Logiques de l'Organisation*», parue dans la série des notes de recherche du G.R.A.S.C.E., N.R. 82.02 (mars 1982).

Le second est Paul VALERY, dont la réflexion sur l'organisation ne nous est disponible que depuis la publication posthume des «*Cahiers*» (2 tomes, Gallimard, Pléiades, 1973). On a repris certains de ces développements dans «*L'Intelligence de la Complexité*» (Cf. note [4]).

[25] On prend le parti d'appeler ce paradigme «morinien» parce qu'il apparaît que E. MORIN est aujourd'hui le penseur qui a su exprimer dans sa plénitude la richesse du concept d'organisation. Il va sans dire que cette identification ne récuse en aucune façon les théorisations antérieures qui convergent vers la synthèse proposée par E. MORIN. On a déjà mentionné, A. BOGDANOV et P. VALERY, W. WEAVER, N. WIEVER, R. ASHBY et H. Von FOERSTER. Il faudrait évoquer aussi J. PIAGET (Cf. «*Biologie et Connaissance*», 1967), H. ATLAN (Cf. : «*L'organisation biologique et la théorie de l'Information*», 1972), F. VARELA (Cf. : «*Principles of biological Autonomy*», 1979). Stafford BEER (Cf. : «*Platform for Change*», 1975), ... pour ne citer que ceux qui ont, à ce jour, enrichi ma propre réflexion sur l'Organisation.

[26] On a proposé une conceptualisation, sous la forme d'une «théorie» classique de la théorie de l'organisation dans une étude intitulée «*Trois théorèmes de la théorie générale de l'Organisation*» publiée dans les actes du colloque AFCET : «*Développements des sciences et pratiques de l'Organisation*» (AFCET, Paris, Nov. 1984).

On trouvera par ailleurs dans deux autres études une interprétation de la théorie de l'organisation suggérant deux formalismes d'évaluation de la «richesse organisationnelle» d'un système, concept que l'on peut légitimement rapprocher d'une estimation de la Complexité :

- «*L'auto-organisation des systèmes de Décision*» (Note de Recherche G.R.A.S.C.E., N.R. 80.08, dont une partie est publiée dans «*La Décision*», B. ROY Ed., Presses Universitaires de Lyon, 1983.

- «*Le vieillissement des organisations sociales*» dans la Revue «*Communications*» n° 37 (CETMAS, Seuil, Paris) pp. 191-194.

[27] De façon synthétique, E. MORIN rassemblera l'ensemble de sa réflexion sur l'Organisation par une «Reparadigmatisation» : qu'il formulera de façon condensée (complexe et intelligible) : Auto-Eco-Ré-(Géno-Phéno-Ego)-Organisation (Computationnelle - Informationnelle - Communicationnelle).

[28] Les travaux de pionniers de A.M. TURING sur la computation datent sans doute de 1936, mais son article le plus notable pour notre propos date de 1950 : «*Computing Machinery and Intelligence*» (repris dans «*Computers and Thought*», E. FEIGENBAUM et J. FELDMAN Eds, Mac Graw Hill, N.Y., 1963).

[29] Les conditions de l'émergence de la «*Science de la cognition*» vers 1975-1978 sont évoquées dans une étude historique de Z. PYLYSHYN : «*Information Science : its roots and relation as viewed from the perspective of cognitive science*» publiée dans «*The Study of Information*», F. Machlup et U. Mansfield Edr, J. Wiley & S., N.Y., 1983. On en trouvera également une présentation due à H.A. SIMON, dans «*Sciences de l'Intelligence, Science de l'Artificiel : le paradigme du système de Traitement de l'information*», A. Demailly et J.L. Le Moigne Eds, Presses Universitaires de Lyon, 1985.

[30] La première présentation synthétique du paradigme S.T.I. apparaît dans : A. NEWELL et H.A. SIMON : «*Human Problem Solving*», Prentice Hall, 1972.

POSTFACE ET RÉOUVERTURE

Jean-Louis LE MOIGNE, Magali ORILLARD

*Ne plus subir la complexité, la concevoir ;
Ne plus trivialisier nos projets d'action, les complexifier ;
Ne plus trancher les nœuds gordiens, les comprendre ; [...]*

Au terme de ces exercices si divers de modélisation systémique de la complexité, ne peut-on se proposer ces quelques aphorismes convaincants ? Ils nous suggèrent tous le terme du défi : la complexité n'est peut-être ni magique, ni écrasante : elle peut être intelligible, elle peut être accessible par quelques efforts cognitifs de compréhension raisonnée ; compréhension rusée sans doute, plus heuristique qu'algorithmique, mais compréhension délibérément interprétable. Peu à peu, cet ouvrage avec d'autres en témoigne, ces raisonnements rusés, cette intelligence de l'action complexe nous deviennent collectivement praticables. Nous apprenons à ruser victorieusement avec l'explosion combinatoire, à inventer les «grands pas» qui nous permettront d'explorer plus soigneusement les zones sensibles que révèlent les modèles. Nous apprenons à libérer l'imagination sans nous abandonner au délire onirique, nous reconnaissons les vertus de l'ingénuim viccien et sa puissance face à l'analyse cartésienne. Le paysage de la réflexion se transforme, et se complexifiant, révèle de nouveaux possibles. Des possibles qui ne sont pas nécessités, mais qui s'avèrent pertinents, ici et maintenant.

La modélisation systémique de la complexité est exercice de l'intelligence, de plus d'intelligence. C'est à l'intelligence de l'intelligence qu'il faut nous consacrer : une recherche scientifique sur l'intelligence, une science de l'intelligence, se développe désormais au sein des sciences de la cognition. Les matériaux déjà se rassemblent, qu'il importera de diffuser, de faire travailler.