

AFSCET

Res-Systemica

Revue Française de Systémique
Fondée par Evelyne Andreewsky

Volume 12, novembre 2014
Modélisation des Systèmes Complexes

Res-Systemica, volume 12, article 06

Les axiomatiques de la modélisation

Jean-Louis Le Moigne

article reçu le 03 novembre 2014

exposé du 03 mars 2008



Creative Commons

Cher François

Bravo pour ton idée et pour le joli portefeuille de contributions que tu as constitué, Chemin Faisant depuis sept ans autour de l'Atelier MSCx.

Quand tu pourras, cela pourra constituer une belle réserve patrimoniale : on pourrait ainsi le reprendre et lier sur d'autres sites, tel que celui du RIC par exemple. Et bien des profs et formateurs seraient heureux de picorer là dedans.

J'en viens à ta demande précise pour monter un numéro de Systemica à partir de ce portefeuille... qui a eu la vertu de me faire revisiter mon diaporama de 2008 : pas mauvais en effet, mais j'ai eu l'impression de ressentir mes redites internes : tu m'a incité ainsi à retrouver, non sans mal, de vieux textes... d'avant le Web. Ajoutons que mon diaporama de mars 2008 a eu un frère jumeau fort consanguin, pour le Colloque du CIAEM 60 - 25 avril 08 à l'ESCP : Colloque "Complexité et Education Mathématique" : "Sur la modélisation systémique : légitimation épistémique et pratiques : Ne peut-on restaurer "le Discours sur la Méthode des Études de notre Temps"? que tu as dû connaître en son temps ?"

Le premier est une pièce de musée : Cahier de l'ISMEA 1980 (F. Perroux régnait encore escorté par R. Vallée).

Celui de 1988 est beaucoup plus sommaire (incidente pour un colloque Syst de Santé). J'attache cela pour ton info personnelle ; sans plus.

Celui de 1992 a pu être "Webisé" en 2005 sur le site du RIC. Tout ceci pour te dire hormis une reprise de mon article de 1992 qui est bien sûr libre de droit, et éventuellement, à l'usage des historiens d'une reprise de l'article que je crois pionnier de 1980 in ISMEA, je ne crois pas que je puisse contribuer par la mise en article académique de mon diaporama de 2008.

En revanche je veux te remercier de m'avoir "remis sous tension" pour aviver ces traces de mes navigations souvent tenues pour insolites dans l'archipel des Axiomatiques : Archipel ou Fond sous marin de l'Océan de la Complexité ? Je ne sais !... R. Blanché aurait sans doute été dubitatif ... ET J.B. Grize ne m'a pas dissuadé !

Bon courage et merci de tes initiatives.

Bien amicalement. JL²M.

"L'AXIOMATIQUE DE LA MODELISATION"

Jean Louis Le MOIGNE

Note de Recherche 80.10

Octobre 1980

Economies et Sociétés - Cahiers de l'I.S.M.E.A.
Série "Economie Mathématique et Econométrie" E.M. n°6
Tome XIV numéros 8, 9, 10.
Octobre 1980.

Une axiomatique : les règles du jeu de la modélisation systémique

J.-L. Le Moigne*

La conception-construction d'un modèle d'une réalité perçue complexe est un jeu. Quelles sont les règles de ce jeu ? Sont-elles les mêmes que celles des jeux par lesquels on raisonnera et on calculera à l'aide de ce modèle ? La question mérite d'être discutée dès lors que l'on s'aperçoit que l'analyse, méthode traditionnelle de modélisation, triche souvent dans ce jeu, pendant que l'analyste joue un « double jeu » déontologiquement discutable ! Cette interrogation conduit à rappeler l'axiomatique de la modélisation analytique, que l'on peut formuler en trois axiomes généraux et interdépendants. Pour rendre compte des comportements modélisateurs que l'on souhaite pratiquer sans tricher, il s'avère nécessaire de proposer trois autres axiomes exclusifs des précédents, constituant une axiomatique de la modélisation systémique. On les présente succinctement, en suggérant quelques arguments d'une discussion épistémologique dont la portée dépasse sans doute les sciences sociales et les sciences de l'artificiel au sein desquelles cette réflexion s'est initialisée.

The design and construction of a model of perceived complexity is a game. What are the rules of this game ? Are they identical to those of games by means of which people will reason and compute using this model ? This question warrants our attention once we recognise that analysis, the traditional method of modeling, often cheats in the modeling game and that the analyst often plays a deontologically questionable "double game!" We must therefore recall the axiomatics of

* Professeur associé à l'Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille, Faculté d'Economie, Grasse (E.N.A.-C.N.R.S., n° 640).

analytic modeling, which can be formulated in three general and interdependent axioms. In order to take into account the modeling behaviour that people would like to follow without cheating, it proves necessary to propose three other axioms, incompatible with the previous one, which constitute the axiomatics of systemic modeling. They are briefly presented here with some suggestions for an epistemological discussion which probably exceeds the scope of the social sciences and of the sciences of the artificial from which it arose.

*
**

I. — LA MODÉLISATION : UN DOUBLE JEU SANS RÈGLES ?

La théorie des jeux n'est pas, ou pas encore, une théorie *du* jeu. Une telle construction nous serait pourtant bien nécessaire pour rendre compte du concept peut-être le plus paradoxal que le langage ait forgé : Le jeu — ou l'activité ludique — se définit, nous rappellent les dictionnaires, par « le seul fait que cette activité n'ait d'autres fins qu'elle-même » ! Monstruosité logique dans son principe, celle du serpent qui se mange la queue (symbole pourtant de la création), « vie sans nom, déroulement sans origine »¹, celle du programme informatique qui s'exécuterait en fonction de son propre résultat, l'imprévisible par excellence, et pourtant compréhensible ! Les analystes, et les logiciens qui les servent, ont tenté, depuis deux millénaires, de réduire ce monstre ludique en l'enfermant dans des règles innombrables, pulvérisant *le* jeu en mille jeux, chacun d'eux doté de sa règle, règle qui le rendra ainsi prévisible et fragile, à la merci du rusé (l'image du serpent, encore) qui ne « jouera pas le jeu » en arguant : « tricher, c'est encore jouer » : logique infernale, qui permet de prévoir le tricheur mais qui ne permet pas de le comprendre ; est-il compréhensible, « ce

¹ Ainsi Bosco décrit-il, dans « le jardin d'Hyacinthe », le serpent, monstre enroulé, rappelle le grand Robert.

programme qui se modifie en fonction de sa propre exécution » ?²

N'est-ce pas pourtant ce genre de tricherie auquel se livre en permanence l'ingénieur (ce « re-concepteur »), qu'il soit informaticien ou économiste, ou les deux, dès lors qu'il prétend *raisonner*, en se référant à quelques « règles pour bien conduire sa raison », *sur des représentations qu'il construit de la réalité qu'il perçoit*, en se référant à nouveau à quelques « règles du jeu de la modélisation » ; *Double jeu* (celui du raisonnement et celui de la modélisation), pudiquement dissimulé en faisant comme si il n'y avait qu'un seul jeu et qu'une seule règle du jeu : l'objet recomposé sera-t-il toujours identique à l'objet décomposé ? La règle d'un jeu qui tolère des exceptions, des manquements à la règle (les paradoxes), est-elle encore la règle acceptable d'un jeu jouable³ ? Et une règle qui n'est pas praticable permet-elle à un jeu d'être quand même jouable ?⁴... Ces questions et

² J'emprunte cette formule à Jean-Pierre Dupuy dans sa remarquable étude, « Epistémologie économique et analyse de système », (Cérèbe, 1979, C.N.R.S.), à laquelle je ferai bien d'autres emprunts !

³ Pudiquement, les logiciens parlent alors de « problème délicats » pour nommer ces paradoxes innombrables qui sont la honte de la famille ! Un des exemples les plus plaisants que j'en connaisse est révélé — à leur insu — par M. BOLL et J. REINHART dans leur classique *Histoire de la logique* (P.U.F./Que-Sais-Je ?, 1946-1980) par un chapitre V : « Quelques problèmes délicats »... « amusettes que la logique traditionnelle s'était souvent avérée incapable d'élucider... problèmes dont la formulation et la solution sont rien moins qu'évidentes ». Accepter le paradoxe logique c'est intégrer la tricherie dans la règle du jeu. Laquelle, dès lors, ne sera plus « logique » ?

⁴ Les messieurs de Port-Royal, A. Arnaud et P. Nicole, développant « la logique ou l'art de penser », concluait leur présentation des quatre règles générales introduites par le discours de la méthode de René Descartes quelque trente ans plutôt : « Il est vrai qu'il y a beaucoup de difficulté à observer ces règles » (p. 375, dans l'édition Champs/Flammarion). On montrerait aisément les diverses contradictions logiques inhérentes à l'exposé de « huit règles principales » qu'eux-mêmes proposent pour donner un caractère plus opératoire aux quatre préceptes cartésiens. C'est pourtant ce bel ouvrage auquel se sont référés dix générations d'analystes ; en témoigne « son étonnante fortune : quarante-quatre éditions françaises, sans compter les traductions... une des références de notre modernité philosophique... monument où s'exprime avec le plus de netteté la représentation qu'une société et une culture se sont données d'elle-même » : rappels significatifs de Louis Marin, excellent introducteur de l'édition Champs (1970).

quelques autres « ont une longue histoire dans la pensée logique... elles sont la source de paradoxes tels que celui du menteur (Epidémies, puis Eubulides, VI^e et V^e siècle avant J.-C.) ; elles sont à la base des limitations gödeliennes ; et la théorie des types logiques de Russell résolvait les problèmes qu'elles suscitent... en les interdisant⁵... ».

Pour avoir un instant, avant de jouer, interrogé la définition du Jeu, nous avons dû nous approcher du hublot : Notre navire intellectuel a quitté l'océan des certitudes dites scientifiques. Mieux vaut le savoir avant de faire le point !

La question qui nous retient est en effet celle des règles d'un jeu universel, au cœur de la pensée scientifique comme de l'action politique⁶. On l'appelait hier : « Le jeu de l'ana-

⁵ J'emprunte cette formule à J.P. Dupuy (cf. note (2), page 37) en la modifiant très légèrement pour l'adapter au contexte. Cette référence a le mérite de limiter un développement, qui devrait être long, mettant en valeur les limitations aujourd'hui inacceptables de la logique classique. Peut-être faut-il rappeler l'importance de la contribution de Russell par la formule de G. Bateson (que reprennent P. WARTZLAWICK, J. WEAKLAND et R. FISCH dans *Changements et paradoxes*, Ed. du Seuil, 1975), : « Dans la mesure où ceux qui font des recherches sur le comportement ne connaissent pas encore les problèmes exposés dans *Principia Mathematica* (B. RUSSEL et WHITEHEAD), ils peuvent être assurés d'avoir soixante ans de retard » (steps to an ecology of mind, Ballantyne, 1972, p. 279). Aujourd'hui... cela fera soixante-dix ans ! La théorie des types logiques de B. Russell aura tout de même puissamment contribué à nous faire collectivement réfléchir sur... la fécondité des paradoxes.

Puisque l'on a, inévitablement, évoqué « le philosophe crétois Epiménide, qui déclara que tous les crétois sont des menteurs », il faut citer à nouveau J.P. Dupuy répondant à la « défense » des logiciens classiques face à ce paradoxe dit « délicat » (cf. note 3) : « Pierre Delattre me fait remarquer que cette formulation du paradoxe du menteur n'est pas très convaincante. Le mot « menteur » est en effet ambivalent, puisqu'il peut désigner, soit celui qui dit systématiquement le contraire de la vérité, soit celui qui dit quelquefois le contraire de la vérité. Dans les deux cas, on montre que la contradiction n'est qu'apparente. Je pense cependant qu'échappe à cette critique la formulation qu'Eubulide a donnée, un siècle plus tard, de ce même paradoxe : « ce que je dis est un mensonge » ; ou encore : « Cette proposition est fausse » (Dans *L'enfer des choses*, p. 99, Ed. du Seuil, 1979).

⁶ Une formule de K. Marx constitue une parfaite devise à placer en exergue au jeu de la modélisation : « L'abeille confond par la structure de ses cellules de cire l'habileté de plus d'un architecte. Mais ce qui distingue dès l'abord le plus mauvais architecte de l'abeille la plus experte, c'est qu'il a construit la cellule dans sa tête

lyse » (qui consiste à décomposer — recomposer une réalité perçue compliquée ; on l'appelle aujourd'hui « Le jeu de la modélisation » : il consiste à *concevoir et construire, un artefact intelligible présumé représenter un réalité complexe!* La raison humaine s'exerce sur quelque chose par construction : ce quelque chose s'appelle aujourd'hui un *modèle artefact*. Quelles peuvent être les règles d'un jeu de la modélisation⁷, ce jeu par lequel nous « construisons la cellule dans notre tête *avant* de la construire dans la ruche » ? Le procès, presque trop facile, mais bien dangereux, que l'on peut faire aux règles du jeu de l'analyse qui se détruisaient en construisant les paradoxes, appelle une explicitation franche d'un autre corps de règles. Si l'on ne veut pas « réduire l'architecte à l'abeille », si l'on considère que la dignité et peut-être la nécessité humaine passe par l'aptitude et l'exercice de la modélisation des complexités perçues, il *faut* dire comment, annoncer les règles de ce jeu. Récuser les règles du jeu de l'analyse sous le prétexte argumenté de leur illogisme sous-jacent, n'est tolérable que si nous proposons d'autres règles explicites (et à leur tour criticables) d'un jeu de la conception de modèles. Sinon, nous aurons beau en appeler aux révolutions paradigmatiques⁸, nous continuerons à tricher en jouant avec les règles de l'ancien jeu !

avant de construire dans la ruche » (*Le capital*, Editions Sociales, tome I, p. 180-181). Je tiens pour très significatif que cette devise ait été placé quasi simultanément en exergue de deux ouvrages apparemment très différents : celui d'un homme politique éminent, F. Mitterrand, *L'abeille et l'architecte*, Flammarion, 1978 et celui d'une équipe de scientifiques italiens : G. CICCOI et AL, *L'araignée et le Tisserand*, Paradigmes scientifiques et matérialisme historique, Seuil 1976-1979. Le jeu de la modélisation concerne bien le politique autant que le scientifique.

⁷ Le mot « modélisation » n'a pas encore, j'en conviens l'honneur des dictionnaires. Je reconnais volontiers que « la modélisation est une idée neuve » ; neuve mais indispensable, et effectivement acceptée par la communauté scientifique (cf. l'anglo-saxon : « modeling »). Le concept se définit aisément : « Conception-construction de modèles-artefacs » (aisément mais récursivement : car s'il faut définir conception... ?).

⁸ L'allusion au titre du célèbre ouvrage de T.S. KUHN, *La structure des révolutions scientifiques* (Flammarion, 1962-1972), qui restaura le concept de paradigme, est explicite. Edgar Morin proposera « Re-paradigmatisation » (dans la *Méthode*, t. II, 1980, p. 377). Ce « Re » rendra bien compte de l'argument de notre discussion.

Les règles d'un jeu de la modélisation (qu'il s'agisse de méthodes d'analyse, de conception, de simulation, de dialectisation, de synthèse, de réduction, de décomposition...) sont habituellement présentées par un *corps d'axiomes* ou une *axiomatique*⁹. Une des tentatives les plus explicites et les plus universelles de construction d'une axiomatique de la modélisation analytique (ou « analyse ») dont nous disposons, héritière et déjà différenciée de la grande construction aristotélicienne, est probablement celle qu'élaborèrent entre 1662-1683, les messieurs de Port-Royal, en sept axiomes et quatre corollaires du Troisième (qui affirme que « le néant ne peut être la cause d'aucune chose »¹⁰).

Ce *modèle* d'une axiomatique aujourd'hui rarement explicitée, mais presque toujours implicite à tant d'analyses (économiques, politiques, techniques, financières, sociales, ... ou mathématiques !), nous servira ici de référence, bien que nous ignorions sa contribution proprement didactique, qui est grande et ses *a priori* moralistes et moraux, qui sont bien irritants ! On se propose de rappeler succinctement les trois axiomes de bases (auxquels peuvent se « réduire » les diverses énumérations de R. Descartes ou de A. Arnaud et P. Nicole), par rapport auxquels se justifie la modélisation analytique contemporaine dont nous amorçons le procès « Les règles du jeu de la logique classique » ; puis nous tenterons, nous inspirant de la forme de cet archétype, de dégager trois autres axiomes susceptibles de justifier « la Méthode »¹¹ ; ou, si l'on préfère, susceptibles de constituer

⁹ Il serait peut-être souhaitable d'utiliser le concept d'axiomatique avec plus de prudence, sa signification oscillant encore entre un corps d'axiome, un procédé d'exposition déductive, et des méthodes de construction d'axiomes ! L'usage semble cependant retenir une interprétation englobante, malgré le célèbre traité de R. BLANCHÉ, *L'axiomatique*, P.U.F., 1965.

¹⁰ On renvoie à l'étonnant chapitre VII de la 4^e partie (*De la Méthode*) de « La logique ou l'art de penser », cf. note 4, intitulé : « Quelques axiomes importants qui peuvent servir à de grandes vérités ».

¹¹ La référence à *La méthode d'Edgar MORIN*, t. I (1977), t. II (1980); t. III et suivants (à paraître) doit être ici explicite. Nous avons la chance de disposer désormais de l'œuvre cathédrale, au sein de laquelle s'imbriquent les contributions décisives d'H. Atlan et de F. Varela, d'I. Prigogine et d'H. von Foerster, de G. Bateson et d'A. Wilden, de Spencer Brown et de R. Thom et C. P. Bruter, de

les règles du jeu de la modélisation systémique de la complexité : un jeu qui se veut différent de celui de la modélisation analytique de la réalité perçue compliquée, et qui, donc, doit s'appuyer sur d'autres règles, sur une autre axiomatique.

II. — L'AXIOMATIQUE DU JEU DE LA MODÉLISATION ANALYTIQUE

L'une des perversités contemporaines les plus étonnantes de cette axiomatique analytique tient à son aptitude à se dissimuler. Il est tacitement entendu qu'elle existe, et que sa garde sourcilleuse est confiée à un corps de vestales connues sous le nom de mathématiciens (purs, de préférence, comme les vestales !). Les mathématiciens qui œuvrent souvent avec passion sur leurs axiomatiques locales ne démentent pas ce rôle : grâce à lui, Auguste Comte (père malgré lui de sciences dites de l'action.¹²) put proclamer la mathématique Reine des sciences ! Il leur faut seulement veiller à ne pas révéler trop ostensiblement que les axiomatiques qu'ils reformulent ne recouvrent qu'accidentellement l'axiomatique de la modélisation analytique qu'ils sont censés gérer. Et de même que les économistes (et les gestionnaires) font comme si K. Arrow n'avait jamais démontré un théorème d'impossibilité d'agrégation des préférences individuelles, pour pouvoir perpétrer leur référence à l'optimum social qu'ils se donnent mission de calculer, les mathématiciens se comportant souvent comme si Gödel n'avait pas démontré ses fameux théorèmes d'incomplétude pour épar-

L. von Bertalanffy et F. Jacob, de P. A. Weiss et J. Wartzlawick, de C. Castoriadis et B. d'Espagnat, de J.P. Dupuy et Y. Barel... J'interromps ici l'énumération des noms de chercheurs contemporains dont je sais reconnaître les apports. Il en est bien d'autres, que j'ai moins approchés, comme il en est d'autres qu'E. Morin n'a peut-être pas encore assez approché, de J. Piaget et de son école (J. Paillard, J.C. Tabary...) à H. Simon ou de F. Perroux à K. Arrow... ! Mais trois autres tomes de la Méthode nous attendent.

¹² Au lecteur non français, il faut rappeler que l'Etat français s'est récemment doté d'un « Institut Auguste Comte pour les sciences de l'action ».

gner toute panique aux analystes convaincus de « l'évidence » des déductions formelles !

Il n'est pas interdit pourtant de pénétrer dans le saint des saints et de reconnaître cette axiomatique ! On peut la présenter par trois axiomes fondamentaux, desquels dériveront divers axiomes corrolaires. Ces trois axiomes sont complémentaires, l'acceptation de l'un d'entre eux impliquant celle des deux autres.

*Axiome A1 : Axiome de l'univers cablé*¹³

La réalité modélisable est explicable et cette explication pré existe à sa découverte.

« Dieu, assurait A. Einstein, ne joue pas aux dés », et il appartient à la science de découvrir ou de révéler ce plan de cablage (le grand « Ordre » compréhensible qui relie toutes choses par causes et effets, « en supposant même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement les uns les autres ». (Cf. le troisième précepte de R. Descartes).

Axiome A2 : Axiome du tiers exclus

Le sujet qui observe l'objet élu par son observation est seul avec lui dans cette relation. Tout tiers en est exclu. Tout ce qui n'est pas l'objet observé, aussi élémentaire soit-

¹³ On a proposé cette formule métaphorique, qui semble avoir été bien acceptée, pour rendre quelque « valeur dramatique » au postulat habituellement présenté sous les labels : « déterministe », « causaliste » voire « positiviste », dans une étude intitulée « systémique et épistémologie », rapport de recherche sur contrat A.T.P./C.N.R.S., 1979, (J.L. Le Moigne, Grasce, Faculté d'Economie, Université d'Aix-Marseille III). Une part importante des réflexions présentées dans le présent article dérive des riches commentaires sur cette étude que m'ont proposé de nombreux collègues. Je ne peux hélas les remercier nommément tous ici, mais je dois au moins témoigner de ma gratitude au Professeur F. Perroux qui m'a invité à la soumettre à la discussion du séminaire de l'I.S.M.E.A. de novembre 1979 au Collège de France, au Professeur Jean Piaget qui m'a invité à la présenter au XXV^e symposium annuel du Centre d'Epistémologie génétique de l'Université de Genève le 26 juin 1980, et au Professeur J. Lesourne qui m'a invité à la présenter au colloque du C.N.R.S. « La contribution des disciplines scientifiques à la notion de système » (Lyon, 23 mars 1979). Je souhaite aussi remercier le Professeur R. Vallée pour

il, est banni. L'observé (comme d'ailleurs l'observant) ne doit pas à la fois être observé (ou observant) et ne pas l'être. Il faut qu'une porte observée soit ouverte ou fermée. La logique dialectique hégélienne crut au XIX^e siècle esquiver cet axiome de base par une synthèse médiatrice entre une thèse et son antithèse, entre un A et un non A, entre les oppresseurs, et les opprimés¹⁴. Elle ne put éviter que ce jeu de la modélisation dialectique soit lui aussi à *somme nulle*, que le gain d'une heure de jour soit exactement égal à la perte d'une heure de non-jour, c'est-à-dire, nécessairement, de nuit. Les efforts des logiciens depuis Aristote pour parvenir à rendre compte de ce qu'ils percevaient (et ils perçoivent souvent bien des tiers dans cette relation de perception d'un objet par eux, sujet I), en respectant formellement ce terrible axiome, se sont tous soldés par des échecs¹⁵. Jacques Monod dans un texte célèbre en a pris argument pour souligner la pureté de ce postulat, qu'il désigne, légitimement, « Le postulat d'objectivité »... et dont il affirme, illégitimement, qu'il est « consubstantiel à la science »¹⁶ !

l'amicale insistance avec laquelle il m'a encouragé à mettre par écrit certaines de ces nouvelles discussions.

¹⁴ J'emprunte cette image quelque peu perfide à un article important de F. Valera auquel on se réfère plus loin : « Not one, not two », the CoEvolution quarterly, Fall 1976, p. 62-67.

¹⁵ Ainsi les messieurs de Port-Royal, qui tentèrent de le rendre subrepticement négligeable parce qu'inutile ! : « ... Car ce qu'ils appellent le premier principe de la connaissance : « Il est impossible que la même chose soit et ne soit pas » est très clair et très certain ; mais je ne vois point de rencontre où il puisse jamais servir à nous donner aucune connaissance » (Editions Champs, 1970, p. 392).

On pourrait s'interroger ici sur la légitimité du glissement sémantique auquel je procède : le tiers exclus des logiciens classiques est en effet une proposition qui ne serait ni vraie, ni fausse, plutôt qu'un tiers intervenant dans la relation entre un observateur et un observé. Je crois pourtant que l'on se réfère au même axiome : Pour pouvoir « séparer » le vrai du faux, il faut un observateur unique habilité à reconnaître le vrai. Que l'axiome porte sur le résultat de l'observation, ou sur le processus de cette observation, il reste ... récursivement le même. Il constitue même un « point fixe » de cette récursivité.

¹⁶ On connaît la formule de J. MONOD dans *Le hasard et la nécessité*, (Seuil 1970) : « Le postulat d'objectivité, postulat pur, à jamais indémontrable, car il est évidemment impossible d'imaginer une expérience qui pourrait prouver la non existence d'un projet, d'un but poursuivi, où que ce soit dans la nature. Mais le postulat

Axiome 3 : L'axiome d'irréductible identité élémentaire

L'observé existe et est identifiable, quelque soit son état de décomposition : Le putréfié lui-même est identifiable, unique, singulier. Toute décomposition de toute partie de l'univers s'arrêtera nécessairement, partout, toujours dès qu'elle atteindra le plus petit existant identifiable. Au-delà, l'univers sera déclaré néant puisque non doté d'identité propre, non identifiable, non existant donc.

Cet élément « identitaire »¹⁷ déclare doté d'une identité propre, indépendante de l'observateur, sera proclamé insécable, irréductible, mais en même temps agrégeable, composable, collectionnable en ensemble d'éléments (« ensembliste » selon C. Castoriadis). L'axiome se complète par une proposition raisonnable : un ensemble d'éléments identitaires est lui-même doté d'une identité et donc d'une existence, propre, elle aussi indépendante des éventuelles interventions de l'observateur ayant *réduit* (ou décomposé, voire disséqué) cet ensemble en éléments, *et se déclarant capable a priori de le recomposer à l'identique* (ayant la même identité). On sait que cet axiome a valu quelques tracasseries aux théoriciens de la biologie mécaniste, qui ne parvenaient pas à démontrer qu'un chien disséqué et donc mort pouvait, après récomposition être identique au chien vivant d'origine ! (On comprend mieux par cet exemple pourquoi certains grands biologistes furent les pionniers de la remise en question de

d'objectivité est consubstantiel à la science... » (p. 33). Dans un texte présenté au colloque C.N.R.S. de Lyon, 1980, sur la notion de système, texte d'une haute tenue mais aux propositions duquel je ne souscris pas toujours, P. Delattre a tenté une nouvelle « défense et illustration de l'axiome du tiers exclus » ; défense dangeueuse puisqu'elle repose sur la consubstantialité affirmée entre cet axiome et la logique. Si l'on peut récuser l'axiome « pour cause de paradoxe », faudra-t-il alors récuser aussi la logique ? (P. DELATTRE, *Théorie des systèmes et épistémologie*, C.N.R.S. et C.E.A., 1979).

Faut-il rappeler que J. Monod convenait que ce postulat de l'objectivité impliquait une « flagrante contradiction épistémologique » (p. 32). Peut-on faire sérieusement comme si « elle n'était qu'apparente » ?

¹⁷ J'emprunte la formule à C. Castoriadis qui propose d'appeler « logique ensembliste identitaire », la logique fondée sur les axiomes de l'analytisme (« Être, c'est être quelque chose de déterminé », dans cette logique, cf. l'axiome A 1). Voir *L'institution imaginaire de la société*, Seuil, 1975, p. 303.

cette axiomatique de la modélisation analytique¹⁸. Cet axiome a, on le sait, joué un rôle capital dans la construction de la culture occidentale, puisque c'est en s'y référant simultanément que Platon et Aristote firent de l'ontologie la reine de l'intelligence humaine ; en précisant sans doute : ce qui est, existe ; l'identité implique biunivoquement l'existence — « L'évidence est entière, remarquait G. Bachelard, précisément parce que les éléments simples sont indivisibles »¹⁹.

Une axiomatique économique

Bien qu'il existe de nombreux autres exposés de l'axiomatique de la modélisation analytique (nombre d'entre eux la débordant pour axiomatiser simultanément le raisonnement sur les modèles analytiques, constituant ainsi les axiomatiques de la logique classique), il semble légitime et économique de retenir cette forme archétypale et sans doute familière : pour quel lecteur aujourd'hui un tel discours constituerait un « événement intellectuel » ?¹⁹. Cette présentation a en outre l'avantage recherché de faciliter un exposé

¹⁸ On mentionne universellement la contribution du père fondateur de la théorie générale du système, L. von Bertalanffy, dont les premières contributions apparurent vers 1930 en Autriche, mais ne furent effectivement accessibles en Amérique qu'à partir de 1950 et en France de 1961. (*Les problèmes de la vie, essai sur la pensée biologique moderne*, Gallimard, traduit de l'Allemand). P. Delattre a raison de nous rappeler la contribution décisive, mais moins « visible » de P. A. Weiss, qui s'élabora dès 1925. (*L'archipel scientifique*, traduit en français en 1974, chez Maloine S.A.). On pourrait mentionner aussi l'intervention du biologiste Cannon qui proposa vers 1924 le concept toujours essentiel d'homéostasie ; et il faut rappeler que l'œuvre initiale de P. Vendryes, qui est médecin, parut en 1942 soit bien avant la plupart des grands classiques de la systémique (*Vie et probabilité*, 1942, A. Michel).

¹⁹ G. Bachelard commente la présentation de l'axiomatique analytique de Descartes « Non seulement Descartes croit à l'existence d'éléments absolus dans un monde objectif, mais encore il pense que ces éléments absolus sont connus dans leur totalité et directement » (*Le nouvel esprit scientifique*, P.U.F., 1934/1975, p. 146). La seconde référence (19) reprend une autre formule de Bachelard, 1951 : « Ces règles n'ont plus dans la culture moderne aucune valeur dramatique. En fait, il n'y a pas un lecteur sur cent pour lequel le « Discours » soit événement intellectuel personnel ».

dual des axiomes que l'on a été conduit à identifier pour reconnaître les règles du jeu de la modélisation systémique.

III. — L'AXIOMATIQUE DU JEU DE LA MODÉLISATION SYSTÉMIQUE

Si l'identification des règles du jeu de la modélisation analytique était aisée tant cette pratique est familière en Occident depuis trois siècles, celle des règles du jeu de la modélisation systémique est *a priori* beaucoup plus hésitante. Si d'Héraclite à Paul Valéry par Léonard de Vinci, un tel jeu est riche d'une longue tradition, il n'était plus guère pratiqué dans les communautés scientifiques : si bien que la formalisation des règles du jeu restait à entreprendre. On doit à quelques pionniers visionnaires les premières tentatives, confuses souvent parce que, se référant à l'*analyse*, elles visaient à la fois les règles d'un autre jeu de la modélisation et celles d'un autre jeu du calcul et du raisonnement sur ces modèles présumés différents²⁰ : faut-il rap-

²⁰ Le mot « analyse de système », par lui-même, est caractéristique de cette confusion sémantique. A la lettre « l'analyse des systèmes » est une analyse comme les autres, dont on attend qu'elle soit plus « compliquée » parce qu'elle tente de prendre en compte *plus* de variables ou de relations. Ainsi entendue, l'analyse des systèmes est considérée comme une « analyse » plus fine ou plus complète qu'une analyse classique. C'est à cette interprétation « analytique » (voire « cybernétique ») de l'Analyse de(s) Système(s) que se réfère la plupart des publications américaines sous le sigle : « systems analysis ». Derrière elles on trouvera notamment celles du célèbre « Institut International pour l'analyse de système appliquée (I.I.A.S.A./Luxemburg). On observe d'ailleurs une tentative de « récupération » de cette analyse (mécanico-cybernétique) des systèmes par la « Recherche opérationnelle », ainsi qu'en témoigne un article d'un chercheur de l'I.I.A.S.A., H. J. Mister, destiné au numéro du centenaire de la revue américaine *Science*, 1980, « Operations research and Systems analysis ». La même orientation se retrouve dans un étude largement diffusée par l'O.T.A.N. : Education in systems science » (N.A.T.O. conférence series, 1978, Hallsted Press ; Editors B. Bayraktar et al).

Il va sans dire que l'analyse de système (sans s !), ou, de façon moins équivoque, « la modélisation systémique », ne se propose en aucune façon de concurrencer l'analyse sur son terrain. Elle vise à rendre intelligible, de diverses façons, des complexités perçues, en s'aidant notamment du concept central d'organisation. Pour une discussion plus détaillée de l'identification de l'analyse de système au

peler — en les associant dans une même reconnaissance — les noms de J. Piaget, de H.-A. Simon et de C. Lévi Strauss, de L. von Bertalanffy, de K. Boulding et de P.-A. Weiss, de C.-W. Churchman, de R.-L. Ackoff et de G. Bateson, de N. Wiener, de R. Ashby et de H. von Foerster ?... Ils découvrirent et nous firent découvrir la possibilité d'une autre façon de modéliser, d'un autre *jeu*, et nous montrèrent qu'il était, profondément et loyalement, scientifique, lui aussi. A l'heure où notre civilisation prenait conscience de la complexité qu'elle affrontait, complexité qui décourageait tant d'analystes, ils prirent le relais, longtemps dans l'indifférence, parfois sous les quolibets ! La pratique scientifique de la modélisation qu'il développaient, que l'on baptisa bientôt *structuraliste* (en Europe) ou *cybernétique* (en Amérique), puis aujourd'hui de plus en plus, *systémique*, allait progressivement auto-produire sa propre théorisation : la deuxième vague arrivait, qui nous livre aujourd'hui une formalisation déjà bien décapée. En 1972, R. Thom publiait son « essai d'une théorie générale des modèles ». La même année E. Morin retrouvait « le paradigme perdu » et H. Atlan donnait au concept central d'auto-organisation sa formulation scientifique solide qu'avait entrevue H. von Foerster. Depuis les grands textes « formalisateurs » se succèdent, ceux de F. Varela, de M. Bunge, d'I. Prigogine, de C. Castoriadis et de B. d'Espagnat, de J.P. Dupuy, d'Y. Barel... Les ouvrages de F. Perroux, de J. Piaget, d'H. Simon, de J. Lesourne, bien d'autres, mettent ces formalisations sur le champ à l'épreuve des situations économiques, organisationnelles, psycho-cognitives complexes, les validant déjà. Et s'édifie la cathédrale (« la Méthode ») conçue prémonitoirement par E. Morin, dont le projet organise durablement tous ces matériaux. Son entreprise est paradigmatique ; elle inclut donc l'axiomatique de la modélisation que nous cherchons. Il ne suffira pas de l'y reconnaître dans le plan de l'édifice, mais cela nous confortera dans la légitimité de notre ruse !

Il fallait invoquer succinctement ce tissu constitutif pour édifier maintenant quelques points de repères : nous

sein de la systémique, je renvoie à mon article « L'analyse de système, malgré tout... » publiée par *La Pensée*, n° 80-01, février 1980.

ne pourrons ici « justifier » ni même « démontrer » l'axiomatique de la modélisation systémique que l'on a « précipité » (au sens chimique du mot !). Mais c'est par rapport à ces repères qu'on pourra la discuter, la constater, la compléter, et la doter d'un appareil symbolique original qui lui fait encore cruellement défaut.

Axiome S 1 : axiome de l'univers construit ²¹

La connaissance de l'univers se construit par la modélisation de cette connaissance. L'univers connaissable n'est pas nécessairement « expliqué » (câblé) avant que le modélisateur n'en ait proposé une interprétation, déclarant percevoir localement des *régularités* et des *singularités*. Une formule de J. Piaget mérite d'être rappelée ici tant elle caractérise à la fois cet axiome et la pensée épistémologique du Maître de Genève :

« La connaissance ne saurait être conçue comme pré-déterminée, ni dans les structures internes du sujet, puisqu'elles résultent d'une construction effective et continue, ni dans les caractères pré-existants de l'objet, puisqu'ils ne sont connus que grâce à la médiation nécessaires de ces structures... Toutes connaissances comporte un aspect d'élaboration nouvelle ».²²

Il est loyal de souligner le caractère audacieux de cet axiome de base S1, qui n'autorise plus, à la différence de l'axiome A1, le corollaire de l'unicité et de l'absolue certitude d'une vérité pré-existante dont la connaissance se rapprocherait plus ou moins ! Il n'interdit pas en revanche un corollaire de validation des propositions interprétatives par confrontation de conséquences anticipées par le modèle, et observée dans le réel. Mais cette validation du modèle, contingente aux observateurs, ne constitue pas une preuve de vérité.

²¹ Ce concept d'« Univers construit », présenté en dualité avec celui d'« Univers câblé » a été introduit par l'étude « systémique et épistémologique » mentionnée en note (13).

²² J. Piaget, *L'épistémologie génétique*, P.U.F./Que Sais-Je ?, 1970, p. 5.

Cet axiome autorise aisément des axiomes - corollaires de *localité* et de *régularité* ainsi qu'une proposition que l'on peut appeler pour forcer l'attention la proposition de *l'homomorphie glorieuse* : il exclut en effet la possibilité même d'une isomorphie parfaite entre le modèle et le réel vers laquelle la science s'efforcerait de tendre, fut-ce asymptotiquement. Il autorise au contraire plusieurs modèles différents de la même réalité perçue, tous validables, tous susceptibles d'être satisfaisants²³. La construction de ces modèles par homomorphie ne devra plus être honteuse, (on connaît la honte rituelle des sciences de l'homme contemporaines, persuadées qu'elle sont moins « vraies » ou moins scientifiques que les sciences dites exactes !), mais glorieuse et fière de ses œuvres !

Axiome S2 : l'axiome de la récursivité

C'est probablement l'axiome de base le plus contre-intuitif : il est encore peu familier à nos pratiques modélisatrices, bien que nous manipulions sans cesse, presque à notre insu, des *concepts récursifs* : nous avons déjà vu que le Jeu était à la fois l'activité ludique *et* son résultat ; nous savons que l'organisation est le processus organisationnel *et* son résultat, que la décision est l'action de décider ou de juger *et* son résultat, que l'information (comme l'observation) est le processus qui la forme elle-même. Nous savons que le tout se définit par les parties lesquelles ne se définissent que par rapport au tout, lequel... ; nous percevons même que si le tout peut être plus grand que la somme des parties, il se peut que la partie puisse être plus grande que la fraction du tout !²⁴ Définitions toutes récursives,

²³ On ne peut donc plus parler de « *modèle-optimum* », si l'on peut considérer que les modèles sur lesquels on accepte de raisonner sont *tous* des modèles satisfecum. Il n'existe donc pas non plus *a priori* de « meilleures » méthode de modélisation (il n'y a plus de « one best way »). Cette conséquence de l'axiome S1 n'a pas fini de poser des problèmes docimologiques aux correcteurs de copies d'examen ! En revanche on pourra quelquefois parler de « l'optimum-d'un-modèle » lorsque la forme de ce dernier autorisera son interprétation en référence à un critère, unique et exclusif : cas beaucoup plus rare que ne le croient les auteurs d'algorithmes d'optimisation.

²⁴ E. Morin, avec son sens étonnant de la richesse du mot, dira : « Le tout ce n'est pas tout » ; il montrera l'ambiguïté d'une modélisa-

dont on découvre enfin qu'elles engendraient nécessairement ces innombrables paradoxes qui déshonorent la logique classique qui veut bannir la récursivité parce qu'inacceptable au regard de ses axiomes A2 et A3. Paradoxes ! Tous les paradoxes que crée la logique classique par l'exclusion... contre nature... du tiers dans la relation, deviennent orthodoxe si nous raisonnons en référence à un axiome de récursivité magistralement formulée par F. Varela (1976) dans les termes suivants : *toute définition d'une perception définit à la fois (both) le perçu (the it) et le processus qui y conduit (and the process which lead to it)*. F. Varela proposera même de reconnaître systématiquement cette proposition en l'appelant « star » (une « star-formalisation ») et en la notant « * ». On conçoit aussi la « * organisation », le « * jeu », la « * information » ! La reconnaissance de cette récursivité fondamentale attribuée à toute observation nous fait passer d'une *dualité* (fut-elle *dialectiquement hegelienne* !) à une *trinité* : elle inclut le tiers dans l'observation. Le tout n'est plus le complémentaire de la partie (dialectique Tout/partie, jour/nuit, territoire/carte, etc.), il est conçu par une perception ternaire par laquelle un observateur perçoit *à la fois* le tout *et* le processus qui l'engendre, le jour *et* la nuit dont il émerge, le territoire *et* la carte qui le construit en le représentant.

« Le concept de récursion sera le concept solaire » nous assure E. Morin en ouvrant « la Méthode », pour ajouter plus tard : « le RE est partout : âme du génos, il prend forme multiple à tous les niveaux et tous les aspects de l'autos comme de l'oïkos... sans arrêt, en toute organisation... le RE répare, restaure, reconstitue, refabrique, repro-

tion exclusivement holiste, faisant du concept de « tout » (ou de « globalité ») la valeur suprême. C'est un des griefs que je ferais pour ma part à l'entreprise excellemment didactique de J. de Rosnay, *Le microscope ; vers une vision globale*, (Seuil, 1976), que d'avoir sacralisé la globalité dans la perception. On doit à G. Weinberg la première formulation de cette « loi paradoxale » (en logique analytique !) : « La partie est plus que la fraction du tout », dans un exposé remarquablement pédagogique des pratiques de la modélisation systémique : « An introduction to general systems thinking », Wiley, 1975, p. 43.

duit, renouvelle, réorganise régénère, recommence, dans le détail et dans l'ensemble... »²⁵

Ce « RB » selon Edgar Morin sera « l'Auto-référence » selon F. Varela, matrice de l'autonomie, nécessaire corollaire de cet axiome de récursivité. J.P. Dupuy montrera brillamment la fécondité de la logique auto-référentielle formalisée par F. Varela (1975) à partir du « formalisme d'une rare élégance et d'une grande sobriété puisqu'il repose sur deux symboles dont l'un ne s'écrit pas, \square , ... et l'autre noté Γ symbolise à la fois l'acte de distinction et l'indication de l'espace distingué »²⁶ proposé par G. Spencer-Brown (1969) ; formalisme que deux axiomes (impliquant l'exclusion du tiers dans la distinction de l'observé) permettent de manipuler dans une arithmétique originale. Le génie de F. Varela sera de proposer de reconnaître un « troisième état, distinguable dans la forme, distinct des états marqués « Γ », et non-marqués (non « distingués ») « \square », en « appelant cet état, auto-indiqué, l'état d'autonomie et en le marquant par un symbole de croisement et de renversement de l'indication : « \sqcap ». (Symbole équivalent me semble-t-il au symbole « star * » que F. Varela proposait à peu près simultanément). En ajoutant deux axiomes (incluant eux, l'intervention d'un tiers dans la perception de cette récursivité génératrice de l'autonomie perçue), il introduira une algèbre encore mal aisée à manipuler, mais qui contribuera beaucoup au développement de la crédibilité de l'axiome de récursivité²⁷.

²⁵ La première phrase de la *Méthode* (tome I, 1977) page 180 ; les suivantes dans le tome II, (1980), page 335. La métaphore du concept solaire se réfère au dieu Ré (ou Râ) à la fois soleil, création et Dieu de l'ancien empire égyptien.

²⁶ J'emprunte cette formulation à J.P. Dupuy dans *Epistémologie économique et analyse de système* (cf. note 5), page 39.

²⁷ J.P. Dupuy a réussi l'exploit de présenter en deux pages (p. 40 et 41) de l'article mentionné en note 26, l'essentiel de l'algèbre construit par F. Varela sur ces trois opérateurs (blanc, Γ et \sqcap). Il montre en particulier que l'on peut définir une limite (un « point fixe ») d'une récursion infinie dénombrable par distinction : $\dots \sqcap \sqcap \sqcap$, p. ex. : « ne lisez pas ce signal, et que cette « troisième valeur » est l'opérateur d'autonomie \sqcap : L'équation $P = \sqcap P$ a pour solution $p = \sqcap$. J. P. Dupuy propose une lumineuse interprétation des « doubles binds » repérés

Soulignons ici le « risque » que cet axiome fait prendre au modélisateur trop habitué à manipuler l'élément irréductible et insécable dans les algèbres ensemblistes. Il nous faut nous accoutumer à ce que l'élément ne soit plus qu'un « arrêt sur l'image », qu'il soit lui-même système-produisant-et-produit-par-d'autres-systèmes, interminablement, au fil du temps. Il faut choisir fut-ce « provisoirement, sa règle du jeu, qui est le dilemme : élément » ou « système » ? » dit très heureusement Y. Barel (1979, p. 217), le chercheur qui a peut-être le mieux montré à ce jour combien l'axiome de récursivité impliquait la modélisation systémique, lui était même consubstantiel. Avec lui, E. Morin, H. Atlan ou J.P. Dupuy qui se réfèrent volontiers à un texte de G. Gunther²⁸, montreront incidemment qu'un axiome d'irréversibilité est un corollaire de cet axiome de récursivité. Des axiomes plus spécifiques de *fonctionnalité* et d'*autonomie* sont également corollaires de cet étonnant postulat qui astreint l'observateur à être partie prenante, * acteur de l'observation auto-référente.

Axiome S 3 : l'axiome de généricité phénoménale

« L'objet d'étude se métamorphose selon le type de vision qui s'y applique » rappelle E. Morin (1980, p. 120). Ce principe fort systémique appelait une typologie des types de vision, que propose ce troisième axiome : *L'observé*

par G. Bateson et l'école de Palo-Alto, qui se généralise, nous dit-il aux « n-binds » proposés par R. Laing (1969).

F. Varela soulignera (1975, p. 22) sa conviction que « cet algèbre des indications constitue une base théorique solide pour la théorie du système général, parce qu'elle fournit une référence stable pour toute description (= modélisation) de tout univers ».

Les références des textes de F. Varela auxquels on s'est ici plus particulièrement référé sont : 1975 (a) : « A calculus for Self-reference » dans *International Journal of general systems*, Vol. 2, n° 5, 1976 : « Not one, not two » dans *CoEvolution quarterly*, Fall, 1975. Les principaux travaux de F. Varela sur l'auto-référence viennent d'être publiés sous le titre *Principes of biological autonomy*, North Holland, 1979. Une traduction de cet ouvrage doit paraître en 1981, aux éditions du Seuil.

²⁸ G. GUNTHER, « Time, Timeless logic, and self-referential systems » in *Annals of the New-York Academy of Sciences*, vol. 138, p. 396-406, fév. 1967.

doit être perçu identifiable parce qu'on lui attribue une existence propre (la vision ontologique), et une activité propre, par rapport à d'autres observés (la vision fonctionnelle, ou phénoménologique) et une histoire propre (la vision historique, ou générique). Et si l'observé peut être vu sous ses trois visions (actif, stable, évoluant), l'observateur²⁹ doit se voir lui-même (nécessaire récursivité : on n'échappe pas aisément à l'axiome S 2 !) équipé simultanément ces trois viseurs ! E. Morin (1980) l'a particulièrement bien mis en valeur, montrant la nécessité de « concevoir ensemble le phénon, le genos et l'égo », dans une même ouverture (eco) bouclée et donc récursive (auto-Ré) ! Peut-être n'a-t-il pas (encore ?) assez souligné en revanche, le caractère interactif — et donc *projectif* — de cette interaction multiple du sujet qui élit l'objet, et de l'objet qui annoblit le sujet qui l'élit ? Ce sera une des nombreuses contributions de J. Piaget à la conceptualisation de la systémique, et plus spécifiquement de cet axiome, que d'avoir mis en valeur le caractère génétique et phénoménal de cette interaction sujet-objet constitutive de la modélisation : c'est sur elle que peut s'édifier aujourd'hui une théorie du système général, théorie de la modélisation³⁰.

IV. — DÉTRIVIALISER LA MODÉLISATION DE LA COMPLEXITÉ

Ne faut-il pas craindre ici quelque déception du lecteur ? Un beau corps d'axiomes, pour lui doit être la base de départ d'une escalade d'inférences et de déduction, au terme de laquelle se (re)trouverait des propositions, des

²⁹ J'emprunte l'expression « observateur » (qui devient presque indispensable pour manipuler l'axiome S 2 !) à B. Motulsky qui l'a introduite dans sa thèse (à paraître) : *Du système au problème ; essai sur les implications épistémologiques de la systémique*, Université Laval, Québec, 1980.

³⁰ Le lecteur m'autorisera cette immodeste référence à l'ouvrage portant ce titre (P.U.F., coll. S.D., 1977). Je crois que les contributions, pourtant considérables, que la théorie du système a reçu depuis 1976 (E. Morin, F. Varela, Y. Barel, G. Bateson, J.-P. Dupuy, et tant d'autres), confortent l'architecture d'ensemble que j'avais proposé en 1975 : de nombreuses « additions » sont devenues possibles (pour le lecteur concerné : aux chapitres 3, 8, 9, 11), mais peu de ré-écritures,

théories, des théorèmes, les uns familiers, les autres nouveaux mais validés parce qu'ils ont la même matrice axiomatique. Objectif légitime que l'on se propose volontiers, convenant qu'il n'est pas encore atteint faute au moins d'une symbolique descriptive adéquate (dont l'élaboration est cependant déjà amorcée par F. Varela ou E. Morin). Mais ces axiomatiques pures sont nécessairement des axiomatiques locales, spécifiques de propositions « calculables ». On ne leur demande pas de forger en outre des propositions « décidables », voire même seulement « raisonnables ». Les *règles du jeu de la construction d'un modèle* (... ou d'un jeu) ne sont que rarement *les règles du jeu... du jeu avec le modèle*. Les secondes doivent être compatibles, inférables même à partir des premières. Mais elles peuvent être plus spécifiques. Les tenants d'une axiomatique pure ne se sont jamais indignée du caractère relativement qualitatif et large du corps des trois axiomes de la modélisation analytique. Les messieurs de Port-Royal avaient même ajouté « aux deux règles pour la méthode », la précision : « autant qu'il se peut, parce qu'il est vrai qu'il arrive beaucoup de rencontres où on ne peut pas les observer à la rigueur, soit à cause des bornes de l'esprit humain, soit à cause de celles qu'on a été obligé de donner à chaque science » (p. 408). Belle modestie intellectuelle sans doute, mais qui devrait troubler le logicien ! D'autant plus qu'il observe fréquemment que bien des analyses dont les produits sont manifestement stériles se *bloquent* par des déductions, plus scientistes que scientifiques, stratifiées sur les trois axiomes de base A1, A2, A3. J.P. Dupuy a montré à plusieurs reprises la *trivialisation*³¹ désespérante implicite à nombre d'analyse écono-

autres que de concisions dans l'expression, sont devenues nécessaires. Ce qui m'autorise à penser que la systémique murit bien, tant dans sa construction théorique que dans ses développements opératoires !

³¹ La trivialisation d'un modèle est la conséquence logique de la prise au sérieux de l'axiome A1 : un système trivial est un système dont le comportement est parfaitement prévisible, déterminé donc ; le sujet-observateur s'efforce de trivialiser l'objet observé, de « le réduire, pour ainsi dire, en objet, lorsqu'il le dépouille de tout éléments de surprise... » Ce concept est très bien présenté par J.-P. Dupuy (qui précise l'avoir initialement emprunté à H. von Foerster) dans divers documents, et notamment dans « la trahison de l'opulence » (avec J. ROBERT, P.U.F., 1976), Cf. p. 71. Il précise par exemple

mique classique, et bien des modèles économétriques à prétention prévisionniste semblent ignorer le paradoxe logique qu'implique la modélisation de leurs données d'entrée. C'est précisément cette *distance* entre les *pratiques modélisatrices adaptatives* que développait *l'analyse de système* au sens où l'on entendait dans la deuxième partie de la note 20, la « nouvelle recherche opérationnelle », certaines ingénieries des systèmes, certaines théories de l'organisation (sociale, ou vivante), l'intelligence artificielle etc. d'une part, et *l'axiomatique analytique* à laquelle initialement elle se référait (d'où son nom) d'autre part, qui a progressivement révélée la nécessité d'un changement explicite des règles du jeu de la modélisation. Mario Bunge nous a proposé une méthode (onéreuse) de construction d'une axiomatique³², que l'on ne pouvait sans doute pas mettre en œuvre actuellement. Une entreprise plus heuristique se justifiait, qui nous avait initialement conduit à un corps de dix axiomes très imbriqués et redondants, malaisément manipulables. (Mais dont l'aboutissement était important puisqu'il confirmait la possibilité épistémologique de l'entreprise³³). Leur exposition à la critique des modélisateurs a eu le premier effet décapant que l'on espérait : appuyé sur l'expérience de l'axiomatique analytique, compatible avec « l'art de penser » des modélisateurs contemporains, le corps des trois axiomes de base de la modélisation systémique auquel on aboutit, devrait pouvoir, récursivement, enrichir la nouvelle logique dont nous avons besoin. Cornelius Castoriadis nous y invite par un appel auquel cet essai voudrait, immodestement contribuer à répondre :

« Pouvons-nous aller plus loin que ces déterminations négatives, que la simple constatation des limites de la logique identitaire et ensembliste ? Nous pensons que oui,

(p. 73) : « La trivialité indique donc une identité entre l'objet et le modèle (cf. l'axiome A3) : un objet est trivial pour moi observateur, lorsque le modèle que je m'en fait peut être confondu avec l'objet lui-même ».

³² Voir par exemple les chapitres 7 et 8 de *Philosophie de la Physique*, de Mario BUNGE, Seuil, 1973-1975.

³³ La dernière partie de l'étude « Systémique et épistémologie » à laquelle on s'est déjà référée (cf. note 13) présente cette première tentative d'axiomatisation de la modélisation systémique.

qu'une nouvelle logique peut et doit être élaborée, et qu'elle le sera »³⁴.

La logique n'est-elle pas, « simplement, réflexion de la pensée sur elle-même ? » Riche d'un *axiome fort de récursivité*, ne nous livrera-t-elle pas un nouveau bras de levier qui soulèvera enfin l'intelligible complexité, après avoir *réduit* à néant les paradoxes de la modélisation analytique ? A cette entreprise les praticiens de la modélisation de la complexité que sont *les (re)concepteurs de systèmes* autrement dit les acteurs qui s'acceptent responsables de leurs interventions, sont aujourd'hui invités... La logique de la modélisation n'est-elle pas une affaire trop sérieuse pour être laissée aux seuls logiciens ?

(Août 1980).

³⁴ C. CASTORIADIS, *Les carrefours du labyrinthe*, Seuil, 1978, p. 210.

La science des systèmes dans le domaine de la santé

System science in health care

1. L'information dans les systèmes de santé

*Information in health
care systems*

4^e Conférence Internationale de l'I.S.S.S.H.C.
International Society for System Science in Health Care

LYON (France) — 4-8 juillet 1988

Sous la responsabilité de / *Edited by*

G. Duru
R. Engelbrecht
C.D. Flagle
W. Van Eimeren

N° 138

MASSON 
PARIS-MILAN-BARCELONE-MEXICO

Collection de Médecine Légale et de Toxicologie Médicale

TABLE DES MATIERES

PREFACE	15
ACKNOWLEDGEMENTS	19
INTRODUCTION GENERALE	
Managing health services scientifically - Problems and prospects, BOLDY D.	23
The integration of systems of education, research, and health care services, FLAGLE C. D.	27
Healthy information, GIBBS R. J.	31
La modélisation des systèmes complexes, LE MOIGNE J.	37
Une approche de système pour instaurer la santé pour tous, MONEKOSSO G.L.	45
Médecimétrie, PAELINCK J. H.P.	53
Major health problems and the systems approach to health programme development, SHIGAN E.N..	57
PARTIE I	
L'ORGANISATION DES SYSTEMES DE SANTE	
1 - 1 - Système d'information pour l'organisation des systèmes de santé	61
Using expert systems to monitor health service performance, BOWEN T.	63
The national strategic framework for information management in England, ROGERS R.T.	67
An integrated information system for a health ministry, GIBBS R. J, HOGAN C. P.	71
Système d'Indicateurs pour la gestion de l'assistance extra-hospitalière de la Sécurité Sociale, SANS-JOSEP C., CASTILLEJO R.-J.	73

La modélisation des systèmes complexes

LE MOIGNE J.

Grasse - Université Aix-Marseille, III - 5 avenue Victor Hugo - 13100 AIX EN PROVENCE (France)

La Complexité est aujourd'hui une idée neuve. Longtemps elle ne fut que synonyme de l'hypercomplication, son paroxysme ou son asymptote, désignant quelques tissus enchevêtrant nombre de composants par de multiples liens. La métaphore du noeud emmêlant presque inextricablement les fils qu'un tisserand ou un pêcheur voudrait soigneusement séparer et disposer, revient volontiers dans ces descriptions de la complexité : le noeud gordien, était une telle intrication que le génie d'Alexandre fut impuissant à le démenter : le coup d'épée, par lequel le noeud fut enfin tranché est symbole d'un tragique échec, révélant la désespérante impuissance de l'intelligence humaine : ne parvenant à comprendre la complexité, et ne tolérant pas son défi, elle choisit de la détruire. C'est ce défi que, depuis, la science se propose sans trêve de relever : ce fut longtemps en se proposant de repérer par l'analyse, la décomposition ou la découpe, "ces longues chaînes de raisons toutes simples dont les géomètres ont coutume de se servir pour parvenir à leurs plus difficiles démonstrations" (1) : "La méthode scientifique" se restreint encore bien souvent, trois siècles et demi après Le Discours de la Méthode, à "La méthode analytique". ("Le réductionnisme de méthode (est) indispensable à la pratique scientifique" ! peut écrire en 1986 un scientifique pourtant légitimement réputé pour son attention aux transformations de nos connaissances dans l'ordre du vivant (2)).

En affinant de plus en plus microscope et bistouri, la science contemporaine commence pourtant à percevoir la vanité d'un tel projet : plus le grain de matière est petit, plus nous le découvrons complexe (G. Bachelard, 1934) (3), inextricable, inintelligible par la découpe, **inséparable** dit aujourd'hui le physicien quantique (B. d'Espagnat 1979) (4). La complexité contemporaine cesse d'être perçue comme une hypercomplication, que des machines computantes enfin puissantes permettraient bientôt de réduire à un tas de grains élémentaires : ainsi ces tas de sciures que l'on pourrait, par de subtils algorithmes programmables de micro-collages, retransformer en arbres magnifiques !

Sans doute, peut-on dater de 1948 la prise de conscience, par la Science, du profond changement qu'allait connaître son rapport à la complexité. Edgard Morin a su exhumer un article de W. Weaver, au titre prémonitoire "Science et complexité" publié en 1948 (5), qui invitait la Recherche Scientifique à affronter la traversée du continent de l'irréductible, de l'indécomposable, de l'inalysable ! Un continent que bien sûr elle avait fui jusqu'alors, arguant de l'inadéquation de sa méthode : à force de réduire la méthode scientifique à la méthode analytique, la recherche scientifique n'allait-elle pas oublier son projet, qui est de produire des connaissances actives, activant l'intelligence des acteurs sociaux qui la construisent et la financent ! Percevant le défi de la complexité que la post-modernité allait poser à la Science, W. Weaver l'invitait à ne pas l'esquiver. Les critiques et parfois les incompréhensions qui accueillirent trente ans plus tard, en 1977 (6), la première grande traversée du continent par Edgar MORIN (puisant dans les travaux des premières générations de cybernéticiens et des pionniers des **nouvelles sciences** (7)), aboutissant à la formulation de ce qu'il allait appeler "**le paradigme de complexité**", ces critiques révèlent la lenteur de la diffusion du message de W. Weaver dans les communautés scientifiques. Mais la succession des volumes de "La Méthode" depuis le Tome I, qui parut en 1977, comme l'essor, depuis cette date, de la Systémique, qui fait son projet des méthodes de modélisation des phénomènes perçus complexes, en constituent aujourd'hui le témoignage le plus certain : le défi de la complexité (8) peut aujourd'hui être relevé par la Science ; et la méthode scientifique peut, sans jamais se renier, sortir du champ clos des méthodes de modélisation analytiques, et s'ouvrir aux champs ouverts de l'Ingénium (9) : nous savons désormais que les méthodes de modélisation systémique sont épistémologiquement fondées, sur un socle **constructiviste** certes consciemment différent du socle post-positiviste qui argumente habituellement la modélisation analytique.

Dès lors la complexité peut être appréhendée sans nécessaire mutilation préalable. Irréductible à ses composants, elle peut cependant être modélisée, relevant ainsi de l'**entendement** humain. Puisque l'analytique ne prétend plus au monopole de la scientificité, la complexité peut être modélisée scientifiquement : il n'est plus nécessaire d'analyser pour modéliser ni de disjoindre pour comprendre. La Complexité peut être la plus noble conquête de l'homme du XX^e Siècle ! Nous savons aujourd'hui que nous pouvons forger "**la méthode de complexité**" (10) : autrement dit, la méthode, critique et prospective, (J. Ladrère, 1968 (11)), par laquelle un modélisateur construit les représentations multidimensionnelles des processus physiques et cognitifs au sein desquels il intervient intentionnellement : représentations ou modèles sur lesquels il exercera son entendement, visant à élaborer et à évaluer les projets d'action qu'il peut considérer.

La méthode de complexité (selon E. MORIN), autrement dit la méthode de modélisation systémique (représentation comme et par un **Système Général** d'un phénomène perçu complexe) se justifie par une axiomatique à laquelle le modélisateur doit sans cesse se référer s'il ne veut pas bâtir sur du sable, ou de façon plus perverse, modéliser analytiquement en découpant et donc en détruisant la complexité, au lieu de la concevoir dans sa potentialité, sa capacité à faire sans cesse émerger "**du nouveau et du sens**" d'un processus de modélisation qui sans cesse s'auto-produit.

Axiomatique dont on peut ici récapituler une des formulations possibles, présentée en des termes instrumentaux, de façon à suggérer au moins les modes d'emploi de la systémographie : la méthode de conception-construction-simulation de modèles de phénomènes perçus complexes (12).

Axiome 1 : la modélisation systémique est la **conjonction** de l'intention d'un **modélisateur** au moins et de l'**environnement** au sein duquel il est **délibérément actif**. On peut l'entendre comme l'axiome cybernétique de la **conjonction Finalité-Environnement**, par contraste avec l'axiome de **disjonction analytique des effets et des causes**.

Axiome 2 : "**Au commencement était l'action**" (Goethe), ou encore : "**Nous ne représentons que des opérations, c'est à dire des actes**" (P. Valéry). **Représenter**, par conjonction, l'acte et non pas la chose, le **processus et non pas le résultat** : cet axiome fera de la **boîte noire** (ou du processeur symbolique), connu par ses fonctions présumées intentionnelles, l'instrument nécessaire de toute modélisation systémique : La "**Complexité essentielle**" (G. Bachelard) devient alors a priori appréhendable sans être analysable : elle est **complexe d'actions**, de fonctionnements intentionnels enchevêtrés.

Axiome 3 : Un complexe d'actions perçu complexe par un modélisateur, peut être représenté intelligiblement par divers réseaux (alternatifs) d'interactions susceptibles d'une articulation en niveaux d'interactions de densité comparables.

Axiome 4 : L'action perçue s'exerce dans un temps perçu irréversible (I. Prigogine). Tout modèle systémique d'un complexe porte donc en lui l'hypothèse de ses propres transformations : pas de cinématique sans dynamique associée, et réciproquement (R. Thom).

Axiome 5 : L'action doit pouvoir être productrice d'elle-même. Cet axiome de récursivité est très fort, et souvent tenu comme contre-intuitif par les logiciens classiques : ne récuse-t-il pas l'axiome aristotélicien du tiers exclu (*tertium non datur*) ? Faut-il pour autant s'interdire de considérer qu'une organisation est à la fois (conjonction), action d'organiser et résultat de cette action ?

Axiome 6 : Une action, et un complexe d'actions, doivent pouvoir produire leur propre représentation : l'action produit l'information qui la représente.

Axiome 7 : L'information engendrée par un complexe d'actions, doit pouvoir être engrammable (ou mémorisable) sous forme symbolique, et ces systèmes symboliques doivent pouvoir être manipulables (ou computables) au sein du complexe d'actions qui les forme.

Axiome 8 : "Nous ne raisonnons que sur des modèles" (P. Valéry) et "nous ne communiquons que par des modèles" (G. Bateson). De ce fait, en tant que concepteurs, ou que concepteurs de processus de conception, nous avons à être explicites, comme jamais nous n'avions eu à l'être auparavant, sur tout ce qui est en jeu dans la création d'une conception", donc dans la modélisation systémique (H.A. Simon).

La présentation de ce corps d'axiomes n'est sans doute pas conforme aux règles d'une sobre Axiomatique formelle. On montrerait qu'une telle construction sera possible au prix de l'élaboration de quelques nouveaux symboles permettant de dire économiquement le complexe ou l'ineffable. (L'article *Système* de l'*Encyclopédie Diderot-d'Alembert* illustre et commentait ceci par la présentation détaillée des systèmes de notations

musicales : Systèmes de symboles permettant de représenter effectivement, dans sa complexité sans cesse renouvelée, l'indicible et l'ineffable par excellence). Paul Valéry invitait déjà, en 1943 à créer, pour penser le "fonctionnement du vivant-sentant-mouvant-pensant", des notations ad hoc qui seraient apparaitre à la fois le "significatif" et le fonctionnel, et les caractères de conservation-transformation dans les substitutions mentales. De telles notations commencent au demeurant déjà à se développer : ainsi l'opérateur de récursion d'Edgard Morin : \uparrow , l'opérateur de distinction de G. Spencer Brown : \lrcorner , l'opérateur d'autonomie de F. Varela \square , les combinateurs de H.B. Curry, le multi-opérateur de J.P. Desclée, comme, plus banalement, les symboles de conservation (tank) et de transformation (vanne) de la Dynamique-Industrielle de J. Forrester..., constituent des illustrations de cette nécessaire et délicate entreprise.

Puisque la complexité n'est peut-être pas dans la nature, mais dans l'esprit des hommes, nous ne l'entendons que par les codes et les symboles par lesquels nous nous la représentons ; c'est l'intelligence de ce processus cognitif de symbolisation de la complexité qui fonde le projet prométhéen de modélisation de la complexité. "L'ellipse, l'électron ou la fonction d'onde ne sont-ils pas des concepts inventés par l'intelligence humaine pour représenter intelligiblement des phénomènes initialement perçus complexes" ? interroge judicieusement J. Pearl⁽¹³⁾ par exemple.

Mais cette entreprise de symbolisation implique, on espère l'avoir assez souligné, que soit consciemment entendue une conception constructiviste et non plus ontologique de la réalité présumée complexe que l'on modélise à fin d'intervention : E. Von Glasersfeld, dans "L'invention de la Réalité" nous propose une conclusion épistémologique qui convient fort bien à notre propos :

"Ne plus considérer la connaissance comme la recherche de la représentation iconique d'une réalité ontologique, mais comme la recherche de manière de se comporter et de penser qui convienne. La connaissance devient alors quelque chose que l'organisme construit dans le but de créer un ordre dans le flux de l'expérience"⁽¹⁴⁾.

Notes et Références

- (1) "Le Discours de la Méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences", de René DESCARTES, page 20 de l'édition originale, 1637.
- (2) Henri ATLAN : "A tort et à raison, intercritique de la science et du mythe", Ed. du Seuil, Paris, 1986, page 15.
- (3) G. BACHELARD : "Le Nouvel Esprit Scientifique", Ed. M. Vrin, Paris, 1934, nombreuses rééditions - voir page 144 + .
- (4) B. d'ESPAGNAT : "A la recherche du réel", Ed. Bordas, Paris, 1979, voir page 26 + .
- (5) W. WEAVER : "Science and Complexity", dans American Scientist, vol. 36, 1948, pp. 536-544.
- (6) E. MORIN, La Méthode - Tome I "La Nature de la Nature", 1977 ; Tome II "La vie de la vie", 1980 ; Tome III, Vol. I, "La connaissance de la connaissance", 1986 - Ed. du Seuil, Paris.
- (7) Sur le concept de "nouvelles sciences", voir J.L. Le MOIGNE, "Les nouvelles sciences sont bien des sciences", Revue Internationale de Systémique, Vol. 3, 1987, pp. 295-318.
- (8) "La Sfida della Complessita" (Le défi de la Complexité), en italien, G. BOCCHI et M. CERUTI, Ed., Ed. Feltrinelli, Milano, 1986, publié nombre de textes importants sur la complexité de H. ATLAN, D. HOFSTADTER, E. MORIN, I. PRIGOGINE, H. Von FOERSTER, E. Von GLASERSFELD, F. VARELA, M. ZELNY, etc... ; on doit se référer, en parallèle, au recueil rassemblé par l'Université des Nations Unies, sous le titre "Sciences et pratiques de la Complexité", Ed. la Documentation Française, Paris, 1986, recueil qui présente nombre d'autres textes de la même veine et parfois des mêmes auteurs.
- (9) Le concept d'**ingenium** comme antinomique de celui d'**analyse** a été introduit en 1708 par G.B. VICO, le père du constructivisme moderne que l'on redécouvre aujourd'hui. Voir notamment, dans une traduction et avec une riche présentation d'A. PONS : G.B. VICO - "Vie de G.B. Vico écrite par lui-même" - Ed. Grasset, Paris, 1981, voir p. 132 et p. 199 +).
- (10) Voir E. MORIN, La Méthode, Tome I, 1977, page 386.
- (11) Voir J. LADRIERE : Article "Science et discours rationnel" dans Encyclopaedia Universalis, vol. 14, p. 754.
- (12) Il existe plusieurs présentations de cette axiomatique. Celle-ci est reprise de l'article "La Science des Systèmes" - à paraître dans Encyclopaedia Universalis, 1989.
- (13) J. PEARL : "Complexity and credibility of inferred models", International Journal of General Systems, 1978, Vol. 4, n° 4, pp. 255-264.
- (14) E. Von GLASERSFELD : "Introduction à un constructivisme radical", dans p. Watzlawick (Ed) : "L'invention de la réalité. Contribution au constructivisme" (1981-1985). Traduit de l'allemand en français : Ed. du Seuil, Paris, 1988, voir page 41.

LES FORMALISMES DE LA MODELISATION SYSTEMIQUE

Jean-Louis Le Moigne*

Le contexte de cette publication en 2005. « FORMALISMS OF SYSTEMIC MODELLING »

Cette étude fut initialement rédigée en français, fin 1992, à la demande du professeur H. Greppin (Université de Genève), sous la forme d'une contribution au séminaire qu'il organisait sur « Some physicochemical and mathematical tools for understanding of living systems . Elle fit l'objet d'une 'Note de recherche GRASCE, Université d'Aix Marseille III, URA CNRS 935'.(NR 93-01)' Comme elle reprenait des arguments exposés et développés dans nombre de mes publications en langue française sur ce thème, je ne songeais pas à l'époque la faire publier. Avec ses collègues de l'université de Genève, le pr. H. Greppin me proposa de la traduire et de la publier en anglais dans un recueil rassemblant les travaux exposés au séminaire qu'il venait d'animer. C'est ce texte anglais, repris également par numérisation près de quinze ans plus tard que l'on trouvera attaché par un lien à cette version français .

Je crois utile de le rendre aujourd'hui accessible sur le site Internet www.mcxapc.org pour répondre à un reproche qui m'est quelquefois objecté, celui du trop petit nombre de travaux de l'Ecole aixoise de Systémique disponibles en langue anglaise. Les ressources de la numérisation, et de la toile internet, comme le confraternel agrément de H Greppin permettent aujourd'hui de mettre aisément à la disposition des chercheurs intéressés un des textes caractéristique de cette Ecole aixoise.

Je crois en le relisant que la présentation, certes très sommairement argumentée ici, des formalismes de la modélisation systémique présentée dans cet article est toujours pertinente, 15 ans après. Des branches se sont déployées, mais le tronc et ses enracinements épistémologiques se maintiennent et assurent leur fonction d'irrigation ascendante et descendante dans les champs de la modélisation intelligente des systèmes complexes.

Je n'ai pas cru devoir modifier les références originales, lesquelles sont aujourd'hui inégalement accessibles. je m'efforcerais de documenter plus soigneusement les chercheurs qui me le demanderaient ; (lemoigne@univ-aix.fr)

* Reproduction établie par numérisation en avril 2005, de la 'Note de Recherche GRASCE, Université d'Aix-Marseille, URA CNRS 935', NR 93-01. Ce texte, établi en français fin 1992, était rédigé afin d'être traduit en langue anglaise et publiée dans un ouvrage collectif publié par l'Université de Genève. Il a paru légitime de joindre cette 'version originale' à la nouvelle publication sur le site du Réseau Intelligence de la Complexité MCX-APC de la version anglaise. Je n'ai pas modifié le texte de cette version originale, hormis quelques détails de forme. Les références bibliographiques sont donc toutes antérieures à 1992, mais nombre d'entre elles ont fait depuis l'objet de nouvelles éditions , et sont souvent d'accès aisé en 2005.

LES FORMALISMES DE LA MODELISATION SYSTEMIQUE

Jean-Louis Le Moigne*

Peut-on se proposer d'établir et de communiquer quelques règles pouvant guider le bon usage de la raison dans ces magmas complexes et familiers que l'on désigne par les affaires humaines¹ ? Le projet de la modélisation systémique est sans doute de permettre à chacun des acteurs qui la pratique, devenant ainsi modélisateur, de se construire quelques systèmes de symboles sur lequel il pourra exercer sa raison en les transformant à sa guise, de représentation en représentation, tour à tour diplomatique et théâtrale² ; exercice que nous entendons habituellement sous le nom de "réflexion", par lequel l'acteur construit son projet dans sa tête avant et afin de l'incarner par son action³.

C'est cette conception de la Modélisation Systémique (M.S.) qui légitime son projet d'entendement ou d'intelligence de la complexité⁴ : perception elle-même complexe de phénomènes perçus complexes, et donc irréductibles à un modèle fini, aussi compliqué soit-il. Perception que s'interdit la Modélisation Analytique qui depuis bientôt deux siècles s'est installée de façon quasi-monopoliste dans la culture scientifique occidentale.

1. SUR LA FORMALISATION ET LES FORMALISMES DE LA MODELISATION EN GENERAL

Ce projet de la M.S., se ré-instituant progressivement non seulement comme une alternative plausible à la modélisation analytique, mais aussi comme une alternative plus ambitieuse, affirmant sa capacité à l'intelligence modélisable de l'immodélisable complexité des affaires humaines, appelle pour être praticable, l'explicitation de quelques "formalismes" (ou systèmes de règles) au moins aussi explicites que ceux proposés par les '*Regulae ad directionem ingenii*' que René

* Reproduction établie par numérisation en avril 2005, de la 'Note de Recherche GRASCE, Université d'Aix-Marseille, URA CNRS 935', NR 93-01. Ce texte, établi en français fin 1992, était rédigé afin d'être traduit en langue anglaise et publiée dans un ouvrage collectif publié par l'Université de Genève. Il a paru légitime de joindre cette 'version originale' à la nouvelle publication sur le site du Réseau Intelligence de la Complexité MCX-APC de la version anglaise. Je n'ai pas modifié le texte de cette version originale, hormis quelques détails de forme. Les références bibliographiques sont donc toutes antérieures à 1992, mais nombre d'entre elles ont fait depuis l'objet de nouvelles éditions, et sont souvent d'accès aisé en 2005.

Descartes ne put achever avant sa mort: *Règles pour la direction de l'esprit*⁵ qui pourtant constituèrent pendant près de trois siècles le formalisme matriciel de la modélisation analytique. Référence toujours citée et rarement relue, au point qu'elle constitue pour beaucoup la définition auto-référentielle de tout formalisme : '*Représenter par des figures nues*' (Règle XIV)

Il nous faut donc d'emblée nous désengluier de ces définitions analytiques des formalismes et de la formalisation par laquelle on les établit, définition que reprennent encore la plupart des dictionnaires contemporain de philosophie épistémologique et logique. Non pas pour les rejeter ou contester leur pertinence dans leur domaines de définition dès lors qu'il est reconnu dans ses sévères limites; mais pour les débarrasser assez afin de pouvoir disposer d'un contenant qui ne mutile pas un contenu que l'on souhaite suffisamment puissant, et qui pourtant s'insère aisément sur la trame sémantique que brode la communication scientifique contemporaine"

.Entendons dès lors *la formalisation par l'exercice cognitif par lequel une action (un système concret) est transformé en une forme (un système abstrait)*, et acceptons que l'opération inverse oit comprise comme *l'interprétation*, ces systèmes concrets et abstrait pouvant être considérés comme des "systèmes de signes" (nous dirons bientôt des *systèmes de symboles*).

Et entendons *le formalisme comme un système symbolique de règles opérant un tel processus de transformation d'expériences (dans l'univers Φ , Φ pour physique selon P. Valéry) en connaissances (dans l'univers Ψ , Ψ pour psychique selon P. Valéry)*. Est donc formalisme tout système de signe résultant de la formalisation ; Mais cette définition ne réduit pas les formalismes à quelques variétés d'une logique formelle tout en les incluant sans réserve

Inclusion d'autant mieux venue qu' elle nous incite à tirer parti de la millénaire expérience de la formalisation et en particulier des multiples initiatives des mathématiques, arithmétiques, géométriques et logiques ; nous disposons d'un patrimoine presque inépuisable , au sein duquel peuvent se forger bien des apprentissages de la formalisation et se retrouver bien des modèles originaux de formalismes La tentation, bien sûr est permanente depuis un siècle de réduire la formalisation à la mathématisation et les formalismes a des systèmes de logiques formelles⁶ , tant les réussites de la physique théorique devenant physique mathématiques séduisent les modélisateurs ... en biologie, en économique ou en linguistique théorique. Mais de telles réussites font souvent illusion; H Simon l'a très bien montré en considérant l'émergence de la formalisation en chimie au XIXème siècle :

Les langages formels à l'aide desquels l'homme s'est révélé à lui-même les formes (patterns) de la Nature dans un de ses domaines ne sont pas nécessairement appropriés ou utiles, pour la compréhension des phénomènes dans d'autres domaines

Les outils du calcul si puissant en physique, contribueront peu à la Chimie au XIXème siècle. La chimie a eu à développer son propre langage.

Ce langage a du admettre l'énorme variété combinatoire de composés qui peuvent être formés à partir des éléments. Il eu a représenter les interactions qui peuvent n'être pas additives entre des molécules complexes ...

Ce langage chimique est fondamentalement non-numérique, discret et combinatoire. Ses règles d'inférences sont nombreuses, éclectiques, très empiriques: sous tous ces aspects, il diffère beaucoup du langage de la physique.

Nous devons convenir que ce n'est pas parce qu'un langage est apparu puissant dans un domaine qu'il le sera dans tous les autres. "H.A Simon (1965)⁷

Cette réflexion sur la nature des formalismes révèle surtout les deux critères implicites à tout entreprise de formalisation.

Un critère de rigueur intellectuelle d'abord.

*Il peut y avoir, écrit H A Simon (1965/1967), des modèles formels qui bien que rigoureux ne ressemblent pas aux modèles utilisant les mathématiques traditionnelles^{7b}. Le moraliste, le juriste, le grammairien, le rhéteur et parfois le poète ou l'artiste le savent d'une ancestrale expérience. Dès lors bien sûr que la rigueur s'entend dans la référence du raisonnement à un système d'axiomes explicites, axiomes qui ne sont pas nécessairement ceux de la seule déduction par non contradiction. Les trois axiomes construisant le syllogisme parfait d'Aristote, et aujourd'hui le formalisme des logiques déductives (rarement connu explicitement par les intégristes de la formalisation mathématico-logique) sont un système d'axiomes formels parmi d'autres possibles Il ne sont pas plus 'rigoureux' que d'autres, et Aristote soulignait déjà qu'ils ne s'imposaient pas en raison. « *Qu'est ce qui nous force à tirer la conclusion d'un syllogisme-* interrogeait P Valery dans les 'Cahiers' (T III, 1900, p 320) - *Rien dans la logique ne répond; et nous ne la tirons pas toujours* »*

L'objectif essentiel de toute formalisation devra donc être celui de l'explicitation des axiomes ou des règles conventionnelles par lesquelles sera conduit tout exercice de modélisation. 'La logique ou l' art de penser' des Messieurs de Port-Royal avait regroupé, à la fin du XVIIème siècle, les axiomes de la Modélisation Analytique (MA) qu'elle empruntait aux *Analytiques* d'Aristote et au *Discours de la Méthode* de Descartes (et donc aux *Règles pour la Direction de*

l'Esprit, qui ne furent publiées qu'au début du XVIIIème siècle) ; en même temps, d'autres Messieurs de Port-Royal publiaient '*Les Pensées*' de Pascal, mort dix ans auparavant, sans doute un but apologétique, mais en nous donnant ainsi indirectement une axiomatique originale de la *Modélisation Dialectique* qui devra attendre la *Science de la logique* de Hegel pour bénéficier d'un statut académique comparable à celui de la MA.

Ne faut-il pas pourtant relire cet axiome pascalien qui constitue la première alternative moderne, et l'une des mieux écrites, à l'axiomatique de la MA. ?

"Donc toutes choses étant causées et causantes, aidées et aidantes, médiates et immédiates, et toutes s'entretenant par un lien naturel et insensible qui lie les plus éloignées et les plus différentes, je tiens pour impossible de connaître les parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties" (*Pensées*, 199-72-9, p 527 de l'édition Lafuma

D'Héraclite à Platon, de Pascal à Hegel par tant d'autres⁸, la modélisation dialectique a su se construire quelques corps d'axiomes sur lesquels elle peut s'exercer, et à l'aune desquels le raisonnement peut évaluer sa propre rigueur. Le monopole de la rigueur que s'était implicitement attribué au nom de la logique formelle la modélisation analytique depuis deux siècles, s'avère contingent; en établissant au fil d'une riche histoire, ses axiomatiques propres (ses *topos*.) la modélisation dialectique témoigne de la faisabilité des alternatives à la modélisation analytique. La modélisation systémique doit pouvoir, en explicitant ses axiomatiques modélisatrices (ses formalismes donc), assurer ses propres critères de rigueur intellectuelle et se laver ainsi du soupçon de laxisme que trop de discours bavards, superficiels et parfois quasi-mystiques sur *l'approche-système* ont pu suggérer aux académies traditionnelles, décourageant ainsi nombre de scientifiques de l'effort difficile de méditation épistémologique qu'implique toute investigation interdisciplinaire.

Un critère de faisabilité ensuite.

Un exercice de formalisation doit être un exercice effectivement et universellement praticable. En écrivant *Les Analytiques* Aristote révélait la faisabilité et l'enseignabilité de ce formalisme classique de la M.A. qu'est le syllogisme. Mais par mille *détours* (les *tropes*), il accumulait aussi les exemples, illustrations, analogies, métaphores qui témoignaient d'une faisabilité que l'ésotérisme des formalismes du syllogisme auraient sans doute dissimulé: '*Ce n'est pas BARBARA ou BANALIPTON* (deux des quinze figures du syllogisme proposé par les scolastiques) *qui forment le raisonnement. Il ne faut pas guinder l'esprit*, rappelait Pascal dans ses réflexions sur '*L'art de persuader*' (*Oeuvres*, ed. Lafuma, p. 359).

La faisabilité de la modélisation systémique s'argumente par une méditation sur les innombrables exercices de modélisation des phénomènes complexes qu'accumule l'humanité. L'exercice mériterait d'être tenté qui mettrait en valeur les innombrables apports de la *Rhétorique* et des *Topiques* d'Aristote à la modélisation systémique contemporaine. Bornons nous ici à un argument plus "moderne" : celui de la définition du concept de *système général* par *L'Encyclopédie, Dictionnaire raisonné des sciences des arts et des métiers* publié par M. Diderot,

Les systèmes généraux, qu'ils appelaient plus communément diagrammes, étaient formés par la somme de tous les systèmes particuliers et comprenaient par conséquent tous les sens employés dans la mélopée p. 311 du Tome 32 de l'édition Pellet, à Genève, 1779.

Le détour de l'Encyclopédie pour construire effectivement le concept de système par les *systèmes de notation musicale* (entre beaucoup d'autres, du système du monde au système financier de Law), révèle peut-être le coeur de la modélisation de la complexité par des systèmes de symboles, aisément et universellement praticables : il s'avère possible de représenter - ou de modéliser - l'ineffable, l'indicible, l'immodélisable au sens analytique strict du terme: les systèmes de symboles de notation musicale nous permettent de représenter effectivement et intelligiblement, (dans l'univers Ψ), sous la forme médiatée de connaissances symbolisées, des expériences perçues ou perceptibles par un acteur, fut-il récursivement, le modélisateur de sa propre action (le compositeur). Représentation dont nul ne prétend qu'elle épuise la description du phénomène considéré. Représentation artificieuse, téléologique, complexe, et pourtant intelligible, représentation qui ne prétend pas séparer la formalisation et l'interprétation, empruntant à la modélisation dialectique la règle familière de la récursivité (que la M.A. se contraint à bannir de ses pratiques depuis que les *Principia Mathematica* (1910) lui ont révélé ses dangers pour sa propre axiomatique déductive). Le symbole, *signe de re-connaissance* (*symbolus* en latin, *sumbolon* en grec) exprimant *l'action de conjonction* (*sumballein* en grec: joindre, réunir), redevient l'outil de la modélisation systémique, sans doute depuis que C.S. Pierce l'a caractérisé dans sa complexité instrumentale en le différenciant des deux autres formes du signe auxquelles on le réduisait trop souvent : l'indice (ou l'index, qui définit un rapport causal) et l'icône (qui définit un rapport analogique)⁹. Et le système de symboles va permettre cette instrumentation en conjoignant les deux fonctions de *production* de symboles (et donc de formalisation) et *d'interprétation* de symboles: formes potentiellement productrices de formes et de sens pour et par l'acteur qui les "traite"¹⁰. Ne peut-il concevoir ces *Nombres plus subtils* dont rêvait P. Valéry (qui les notait: ' $N + S$ '):

« *J'ai rêvé que -comme on a inventé (par une sorte de nécessité) des symboles et expressions complexes pour les besoins de la physique mathématique, (tout un matériel d'opérateurs qui permettent de penser à la Maxwell, etc...), ... Ainsi pourrait-on tenter de créer des notions ad hoc*

pour penser *Je fonctionnement du vivant -sentant-mouvant-pensant*" P. Valéry 1943 ('Cahiers' p 857)

« *Des notions quasi quantitatives non numérables mais combinables qui résument les conditions permanentes de la connaissance, et s'étendent à la perception comme à la transformation*". P. Valéry, (1924; p- 8 J 5)

Ainsi s'emboîtent les deux critères que nous nous proposons pour identifier les formalismes de la modélisation systémique :

Un système de règles explicites (*heuristic search*,) des "topos", ou une axiomatique, une grammaire ou des *syntagmes*, qui permette d'évaluer la rigueur de la construction par sa conformité à un mode d'emploi préalablement explicité et communicable,

Un système de symbolisation, de *tropes*, ou des *paradigmes* graphiques et picturaux autant que discursifs (des *langages*) qui permette la production de sens, l'imagination de propriétés potentielles, et par là, les représentations intentionnelles et intelligibles par et pour les acteurs des phénomènes perçus complexes au sein desquels ils interviennent, phénomènes qu'ils modélisent pour raisonner leurs conduites¹¹.

II. LES ENJEUX EPISTEMOLOGIQUES DE LA MODELISATION SYSTEMIQUER

Ce cadre conceptuel (règles heuristiques et systèmes symboliques, topos et tropes, syntagmes et paradigmes, ...) par lequel nous pouvons définir un formalisme de modélisation doit être immergé dans un *bain épistémologique* pour pouvoir être rempli : si le formalisme de la modélisation systémique n'est pas celui de la modélisation analytique, ce n'est pas parce que le cadre formel dans lequel il s'inscrit est différent: il est toujours défini par un jeu de règles et un système de symboles. C'est parce que les options épistémologiques qui le fondent et par lesquelles se spécifient tel et tel jeux de règles et tel et tel systèmes de symboles, sont différentes.

Les formalismes de la modélisation analytique furent si imprégnés des épistémologies positivistes, naturalistes ou réalistes au sein desquelles ils se sont progressivement instrumentés au XIXème siècle (au point d'être pendant un temps tenus pour les archétypes de "la" méthode scientifique), que l'on a aujourd'hui encore, quelques difficultés à les identifier dans leur autonomie méthodologique : la fréquente réduction de la formalisation à la mathématisation fut en quelque sorte le prix de cette confusion.

En nous appelant, dès 1934, à un "*Nouvel Esprit Scientifique*", G Bachelard concluait par la restauration d'une "*épistémologie non cartésienne*" que les développements des *nouvelles sciences*",

dans les creusets de la cybernétique et des structuralismes allaient rendre effective entre 1950 et 1970. Epistémologies héritières des paradigmes nominalistes et dialectiques, dont la prégnance dans les pratiques de la modélisation scientifiques est au moins aussi ancienne que celle des paradigmes ontologistes et déterministes sur lesquels se fondent les réalismes et positivismes contemporains. Depuis que Jean Piaget a proposé, dans son encyclopédie *Logique et Connaissance Scientifique*, (Pléiade, 1967), de les reconnaître sous le nom des épistémologies constructivistes, nous pouvons plus aisément repérer leurs hypothèses fondatrices, et les argumenter pour en inférer les quelques jeux de règles par lesquelles peuvent aujourd'hui se caractériser des formalismes de la modélisation systémique.

On a eu à plusieurs reprises (J.L Le Moigne, 1987, 1989, 1990 a, 1990 b, 1991, 1992), l'occasion de rappeler les grandes hypothèses constitutives des épistémologies constructivistes contemporaines dans la plupart de leurs formulations (Epistémologie génétique chez J, Piaget, Epistémologie de la complexité chez E, Morin, Epistémologie Ingénieriale ou empirique chez H,A Simon, Constructivisme radical chez E von Glasersfeld ou P, Watzlawick, Epistémologie de la Cybernétique de deuxième ordre chez H Von Foerster, Epistémologie de la Pragmatique chez G, Bateson). Aussi peut-on se limiter ici à un bref rappel de ces hypothèse "généralement acceptées" par la plupart des chercheurs qui participent aujourd'hui aux développements de la systémique entendue comme la science des systèmes (et donc *des méthodes de modélisation comme et par un système en général*). Convenons que les divers tenants du *systèmeisme*, entendu comme une idéologie en "isme" parfois quelque peu impérialiste, ne partagent pas tous cet agrément, en remarquant que ce désaccord n'affecte pas notre propos qui concerne l'épistémologie et non *l'idéologie*, la discipline scientifique et non la doctrine philosophique.

Il semble en effet possible de regrouper en trois grandes options conceptuelles les hypothèses fondatrices des divers constructivismes sur lesquels peuvent aujourd'hui se référer les formalismes de la M.S,

Une hypothèse "phénoménologique" : *Nous ne percevons que des opérations, c'est à dire des actes* écrivait P. Valery (Cahiers 1). La perception modélisable est celle de l'expérience de l'acteur intervenant dans un univers qu'il perçoit actif, 'Pour se représenter un arbre, fait dire P Valery à Léonard de Vinci, *on est forcé de se représenter quelque sorte de fond sur lequel il se détache*'. Percevoir cet arbre, c'est percevoir l'interaction de l'arbre et de son contexte, l'action produite par la perception de cette interaction

Pour quasi triviale qu'elle apparaisse, cette hypothèse *phénoménologique* va s'avérer, en pratique, très contre intuitive dans la plupart des cultures contemporaines, fondées sur une forte

hypothèse *ontologique* (cet arbre existe en soi. et il est analysable comme tel, par un tas de sciure par exemple) sur laquelle se sont aisément établis les formalismes de la MA.

L'hypothèse phénoménologique implique presque nécessairement un corollaire important qui va priver les épistémologies constructivistes du critère présumé rassurant de *la vérité objective*. La "réalité" que l'acteur expérimente et qu'il se représente en la percevant, est celle que lui livre cette représentation, Ce n'est donc peut-être pas *la réalité en soi*, dans son éventuelle essence ontologique, indépendante de l'observateur et de l'observation que peut connaître l'acteur. Il n'accède qu'aux représentations qu'il se construit de la réalité singulière qu'il expérimente (*L'invention de la réalité* 1981-89¹²). Elle n'a donc plus pour lui réalité objective, certainement indépendante de l'observateur, et donc imposable en vérité, ou en évidence, à tous les autres observateurs concevables.

Une hypothèse téléologique: Dès lors que l'observateur convient qu'il n'accède qu'à son expérience de l'action, il doit reconnaître son propre projet d'accès à cette expérience. C'est par la *causa finalis*, la cause finale, l'intention, que l'expérience active se conçoit, "*Afin d'éclairer la pièce, il appuie maintenant sur l'interrupteur de la lampe*". H. von Foerster¹³ souligne la différence entre cette représentation de l'action et celle proposée par l'hypothèse déterministe traditionnelle, en remarquant le sens du changement de conjonction: Du "*parce que*" au "*afin de*" (ou de la *cause efficiente* à la *cause finale* selon Aristote) : "*Parce qu'il a appuyé sur l'interrupteur de la lampe, la pièce est maintenant éclairée*", dira une modélisation analytique se référant à cette hypothèse déterministe (elle aussi très prégnante dans les cultures scientifiques contemporaines). Pour la M.S. l'hypothèse téléologique constituera en pratique une référence très puissante: Le célèbre article de N. Wiener, A. Rosenblueth, et J. Bigelow, *Comportement, Intention, Téléologie* (1943)¹⁴ qui restaurera le statut de l'hypothèse téléologique dans les cultures scientifiques contemporaines, rendra culturellement concevables les premiers formalismes de la *modélisation cybernétique* (Klir et Valach, 1966), et par là ceux de la *modélisation systémique*, en leur livrant les concepts de *boite noire* ("*qu'est ce que ça fait ?*" plutôt que "*comment c'est fait ?*"), de *feed-back* et de *comportement téléologique*.

Une hypothèse de procéduralité de la rationalité, qui se définit par contraste avec l'hypothèse positiviste de la naturalité de la logique déductive. Bien raisonner n'est pas nécessairement raisonner selon le moule syllogistique parfait de la logique déductive. La "démonstration vérificatrice" du raisonnement hypothético-déductif ne constitue qu'un des modes du vaste champ des raisonnements reproductibles et argumentables que l'esprit humain peut

concevoir. Les *méthodes de raisonnement* constituaient pour Aristote une ressource d'investigation de la complexité du monde plus importantes que la seule logique syllogistique des *Analytiques*¹⁵, la lecture des *Topiques* comme de *La Rhétorique* en témoigne de mille façon. H.A. Simon a proposé en 1973-76 de prendre acte de cette infinie puissance des multiples *procédures* que peut construire et mettre en oeuvre la raison, en différenciant une *rationalité substantive* (ou déductive. ou syllogistique parfaite. ou algorithmique) et une *rationalité procédurale* (ou délibérative. argumentative. ou dialectique ou heuristique)¹⁶.

Cette conception procédurale (et donc communicable) de la rationalité est certes consciente de la modestie qu'implique l'absence - en raison - de tout critère universel de validation ultime autre que celui des "croyances" de l'acteur, Mais elle rend possible la procéduralisation et donc la maîtrise cognitive de ces formes de raisonnements familiers que bannit la logique déductive traditionnelle, que sont les raisonnements réflexifs et récursifs, spéculaires et autoréférentiels, les raisonnements par tâtonnements fins-moyens, par tâtonnement essais-erreurs, et bien sûr les raisonnements analogiques et dialectiques d'investigations heuristiques (*heuristic search*)¹⁷.

Le projet du raisonnement est de produire du sens plutôt que de le détruire en ne privilégiant que la forme. La reconnaissance des formes concevables et communicables, les "procédures", rend possible cette production raisonnée de sens si familière dans l'exercice du raisonnement par analogie. Au *critère de vérité objective* du raisonnement déductif, ne peut-on substituer le *critère de faisabilité projective* du raisonnement procédural ? : Les praticiens de la modélisation systémique relisent volontiers aujourd'hui GB Vico 1710) pour qui '*le vrai est le faire même*'¹⁸.

III, LE SYSTEME GENERAL, GENOTYPE DU FORMALISME DE LA M.S.

La modélisation systémique se définit par le projet de la modélisation des phénomènes perçus complexes et donc à la fois intelligibles et irréductibles à un modèle fini, Elle ne se caractérise donc pas que par son *résultat*, un modèle fini, mais aussi par sa *procédure* ; elle est à la fois *action de modéliser et modélisation d'actions*. Elle n'implique pas une *théorie des modèles* mais une *théorie de la modélisation*. Elle se comprend par le projet du modélisateur qui se sait actif et partie prenante dans la production des modèles des phénomènes auxquelles il s'intéresse parce qu'il y intervient intentionnellement. Elle est modélisation d'un *système observant*¹⁹ et donc d'un système qui s'observe lui-même dans ses actions : nécessairement "réflexif", le modélisateur devient '*système intelligent, capable de s'observer modélisant, et donc de se construire des représentations de ses actions*'²⁰.

Réflexivité qui se comprend dans l'irréversible écoulement du temps de l'action Si le modèle prétend arrêter le temps de l'action modélisatrice, la modélisation s'entend dans cette irréversibilité, La M.S perçoit ici lucidement la relative pauvreté des systèmes de symboles par lesquels elle peut exprimer la temporalité des actions qu'elle modélise. Les développements annoncés des techniques de modélisation vidéographique et de l'idéographie dynamique²¹ permettront peut-être dans un proche avenir de concevoir de nouvelles pratiques modélisatrices moins contraintes par les outils ?

Téléologie, Récursivité, Irréversibilité..., ces caractéristiques épistémologiques que s'est donnée la M.S. pour aborder en *raison gardant* la modélisation des phénomènes perçus complexes, vont conduire à la conceptualisation conjointe du *formalisme du Système Général* et de la *formalisation par Systémographie*. La procédure de conception de modèles (systèmes de symboles computables) de phénomènes perçus complexes *comme et par un Système Général* (S.G.) que l'on désigne par *systémographie*, se définit et se caractérise aisément dès lors que le génotype de la modélisation est épistémologiquement argumenté et construit²². Il suffit sans doute de rappeler l'idéogramme (ou système de symboles) par lequel on la présente habituellement.

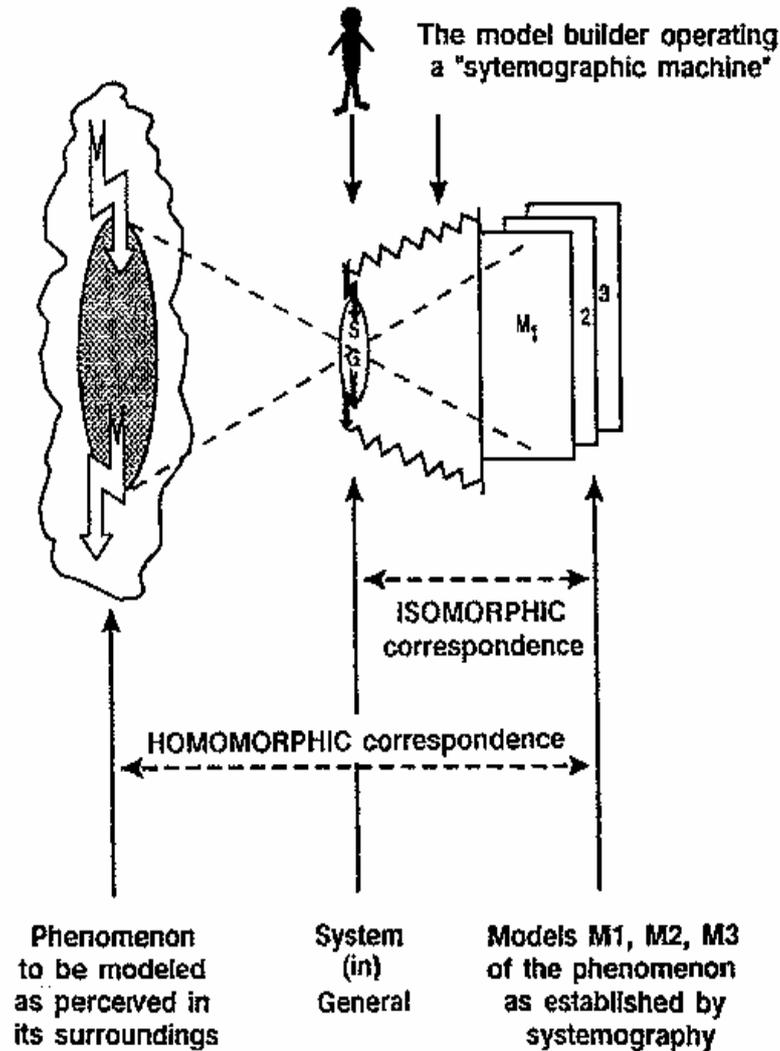
On peut utilement se proposer la métaphore du *génotype* pour caractériser le concept coeur du *formalisme* de la M.S., *le concept de Système Général*. J'emprunte cette métaphore à J.P. Dupuy (1984) qui l'introduisait précisément pour proposer un *bon usage des notions de complexité et d'autonomie dans la pensée du socia*²³.

Soit un génotype. J'entends par là une matrice, une structure, un mécanisme, une règle du jeu. Ce n'est donc pas nécessairement le génome d'un être vivant ... Quels sont les phénotypes que ce génotype est capable ou susceptible d'engendrer ? On sait aujourd'hui que même pour des génotypes très simples, et en particulier déterministes, la réponse à cette question peut-être d'une complexité inextricable: parce que les phénotype sont eux-mêmes complexes, parce que l'ensemble qu'ils constituent est d'une richesse inépuisable, parce le passage du génotype aux phénotypes achoppe sur des problèmes de calculabilité difficilement ou pas du tout soluble. ... Alors même qu'il est une pure construction de l'esprit, le modèle comme génotype se présente comme doué d'une certaine autonomie, capable de produire de la nouveauté et de l'inattendu. ... Le passage du génotype au phénotype (peut-être considéré comme) l'actualisation d'une virtualité".

Si nous *entendons cette construction de l'esprit qu'est le génotype* par le concept bien formé de *Système Général*, et les phénotype que l'on peut engendrer - ou actualiser - à partir de *cette construction virtuelle* comme des *modèles que l'on construit par systémographie d'un complexe*, on

SYSTEMOGRAPHY

Systemography is a procedure allowing one to build up models of a phenomenon perceived as complex which is intentionally represented as and by a system in General



Directions for use:

1. Centering: Construction of M by *isomorphy* with a general system
2. Processing: Documentation of M by *homomorphic* correspondence with perceived features of the phenomenon
3. Interpretation: Simulation of possible actions on M to anticipate the possible consequences in the phenomenon

peut interpréter cette métaphore comme une définition de la modélisation systémique, dès lors que l'on comprend le génotype Système Général dans sa dualité, *à la fois matrice et règle*.

Matrice, il est modèle en général, (ou "paradigme exemplaire" si l'expression n'était pas pléonasme !), modèle d'une organisation ou d'un complexe d'actions téléologiques ;

Règle (ou syntagme), il est procédure de construction, par homomorphisme de modèles phénotypes du phénomène considéré par le modélisateur.

Matrice et règle. il définit *la double conjonction de la M.S. : construire des modèles (phénotypes) COMME (matrice) et PAR (Règle) (Génotype) un Système Général (Génotype)*.

C'est cette *double* conjonction 'du *comme* et du *par*', du '*paradigme* et du *syntagme*', des '*Tropes* et des *Topes*', qui va nous permettre d'explicitier les formalismes de la M.S., formalismes sans doute encore embryonnaires, qui sollicitent *plus l'intelligence modélisatrice* que *le contrôle vérificateur*, qui visent plus à *comprendre* une situation perçue en lui donnant du sens (*afin de*), qu'à *résoudre* un problème déjà posé en lui présentant des moyens (*parce que*).

Les formalismes de *la modélisation systémique* ne sont ils pas alors ceux du *disegno* selon Léonard de Vinci, ou ceux de *l'ingenium* selon GB Vico; et plutôt que ceux de *l'analyse* selon Descartes ou de *l'organisme* selon A. Comte ou H. Spencer ?

"Le «Disegno» (la représentation, le dessin à dessein) est d'une excellence telle qu'elle ne fait pas que montrer les oeuvres de la nature, mais qu'elle en produit des forme infiniment plus variées," écrivait Léonard de Vinci²⁴,

"L'Ingegno" (l'ingenium) est cette faculté mentale qui permet de relier manière rapide, appropriée et heureuse des choses séparées", écrivait G Vico²⁵.

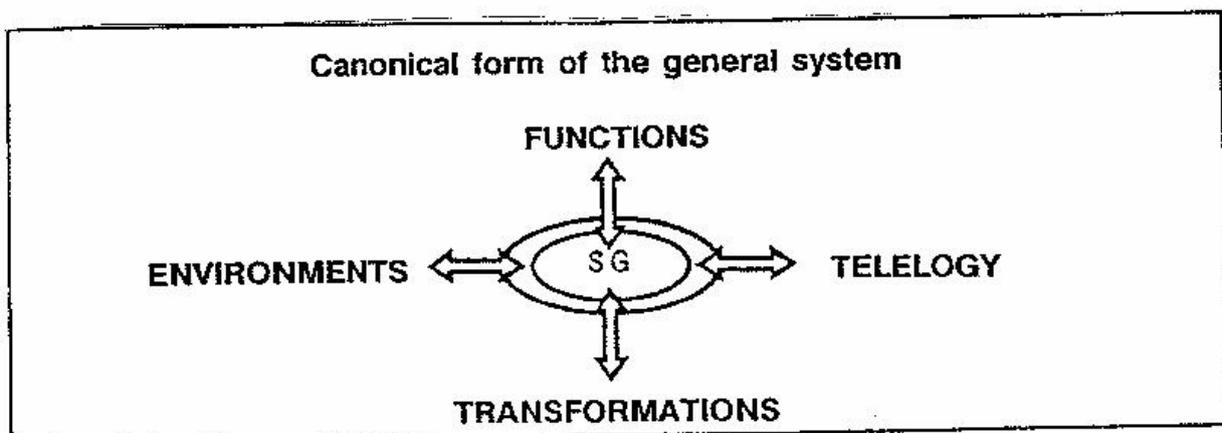
Sans doute L. de Vinci et G.B. Vico ne se réfèrent-ils pas littéralement notre concept contemporain de Système Général, mais lorsque nous nous interrogeons sur leur *méthode* de modélisation des phénomènes perçus complexes, c'est bien la méthode (ou le formalisme) de la modélisation systémique que nous reconnaissons. Qu'on lise "*l'Introduction à la méthode de Léonard de Vinci*" de P. Valéry (1890,20) ou "*la Méthode des études de notre temps*" (1708) de G.B. Vico, traduite et présentée par A. Pons (1984), on ne pourra manquer d'y retrouver les arguments constitutifs de notre génotype Système - Général.

A la fois matrice et règle de modélisation complexe, le génotype système - général doit nécessairement être présenté par ces deux faces inséparables qui constituent la pièce dont il est le titre, la présentation (*diplomatique*) et représentation (*théâtrale*) :

Matrice, il est modèle de processus, enchevêtrement d'actions identifiables, à la fois flux et champ, fonctionnement et transformation, cinématique et dynamique : modèle presque classique du système, réseau ouvert de processeurs désignables ('boîtes noires'..., ou mieux, 'engins noirs') en interrelations activables, permettant de représenter les transferts temporels de familles d'objets proçessés .(transférés et transformés), réseau agençable téléologiquement en niveaux. Processus pouvant être entendus auto-référentiellement, capable donc de se représenter (ou d'engraver les représentations de) leurs activités, de s'informer et de mémoriser donc. Processus pouvant être compris comme capable de manifester des comportements téléonomiques (*goal-seeking behavior*. finalité unique exogène) et éventuellement téléologiques (finalités multiples et endogènes finalisés et finalisant), et susceptibles ainsi d'être interprétés en terme de décidabilité : processus incorporant des processus d'élaboration et sélection de décision et donc des processus de diagnostics intelligents, d'invention et de finalisation.

Cette "lecture" du système général, matrice de modélisation de phénomènes complexes, se construit par équilibrations cognitives successives à partir de sa *forme canonique* :

On a présenté, dans *La théorie du système général, théorie de la modélisation* (1977-1990), cette construction et ses justifications historiques, épistémologiques et expérimentales, en définissant cette forme canonique par la conjonction successive des grands paradigmes de la modélisation que l'on peut reconnaître dans l'histoire de l'expérience modélisatrice des disciplines scientifiques. Forme canonique dont on rappelle ci-dessous pour mémoire la représentation idéogrammatique classique (en remarquant qu'elle "reconstitue sensiblement la même forme canonique que celle de *l'Inventio* de la Rhétorique que synthétisait Cicéron: "*Ca fait quoi, pour quoi, dans quoi, devenant quoi ?*").



Règle de modélisation, le système général est aussi Organisation, ou mieux, comme propose de l'écrire E Morin (1977, 1980) qui a su mettre en valeur dans son intelligible complexité, cette deuxième face, **Organisaction**, action d'organiser (l'organisant) et résultat de cette action (l'organisé). Règle qui exprime d'abord les conjonctions (ou les inséparabilités) de la M.S. , conjonction du système observant et du phénomène modélisé (*représenter une organisation, n'est-ce pas organiser une représentation*²⁶) ; conjonction d'un projet et d'un contexte ; conjonction d'opération de décision et de leurs représentations par des informations, conjonction de nécessité, d'aléas et de possibles ; ...

Règle qui exprime aussi l'intelligible complexité de l'action de toute organisation, sous sa forme canonique, capable à la fois de maintenir et de se maintenir (autorégulation) et de relier et de se relier (autoréférence) et de produire et de se produire (auto-poïese) ; Organisation et éco - organisation et ré - organisation argumentera E. Morin dans le tome II de *la Méthode* (1980)

C'est par la médiation du concept *d'information organisationnelle* que se reconnaîtront l'intelligibilité et la modélisabilité de ce paradigme de l'organisation (qu'il faudrait donc appeler *le paradigme du syntagme de la M.S.*, si l'on veut bien interpréter ici le concept de paradigme dans le sens socio épistémologique que lui a donné T.S Kuhn, 1963-1972, et le concept de syntagme dans le sens d'une unité grammaticale ou d'un jeu de règles formelles que lui donne l'étymologie et la linguistique saussurienne). E. Morin le souligne très pertinemment, en proposant d'écrire le concept d'organisaction sous une forme sans doute lourde mais qui dissuadait les tentatives de réduction simplificatrice d'un concept 'opérateur de complexité' :

Eco – Auto – Ré - Organisation informationnelle, communicationnelle, computationnelle

Il fallait, pour reconnaître cette médiation de l'Information - Organisationnelle (ou de *l'Organisation informée s'informant en formant l'organisation qui la forme*), articuler intelligiblement les deux faces du génotype *Système Général*, sa face matricielle, construite sur les métaphores quasi énergétiques des processus, des réseaux, des flux, des champs, des niveaux (qu'exprime la forme canonique du système général) ; et sa face procédurale, construite sur des métaphores moins tangibles (que je propose de symboliser par le label "*inforéthique*", construit sur la conjonction de l'INformation et de l'ORganisation, entité purement conceptuelles, définie dans l'Univers Ψ). qui rendent compte de *l'interaction complexe* et intelligible de *l'information formant l'organisation qui la forme*),

Canonical Model of ORGANIZA(C)TION

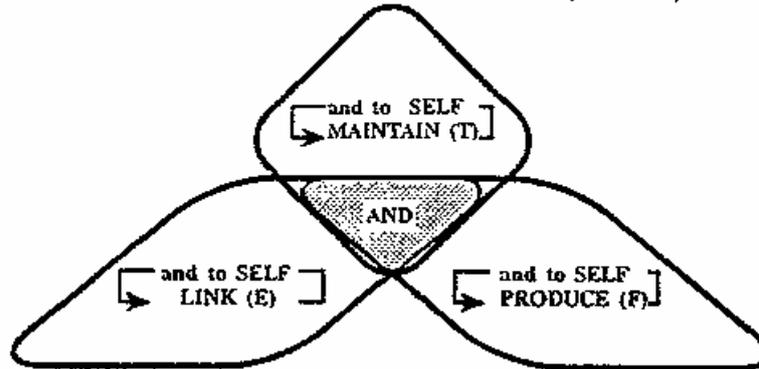
CONJUNCTION OF THREE ARCHETYPE ACTIONS T, E, F

Organization describes the property of a system in general able
AT THE SAME TIME

to regulate AND to self regulate (T action)

to relate AND to self relate (E action)

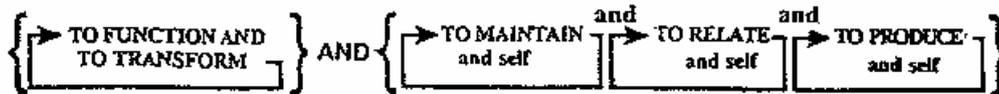
to transform AND to self transform (F action)



These three actions are recursive and express thus the conjunction of the archetype teleological actions expressing the General System:

TO FUNCTION :	to Maintain and to Relate and to Produce
AND	AND
To SELF TRANSFORM:	to self Maintain and self Relate and to self Produce
IN an Environment,	FOR some Aims

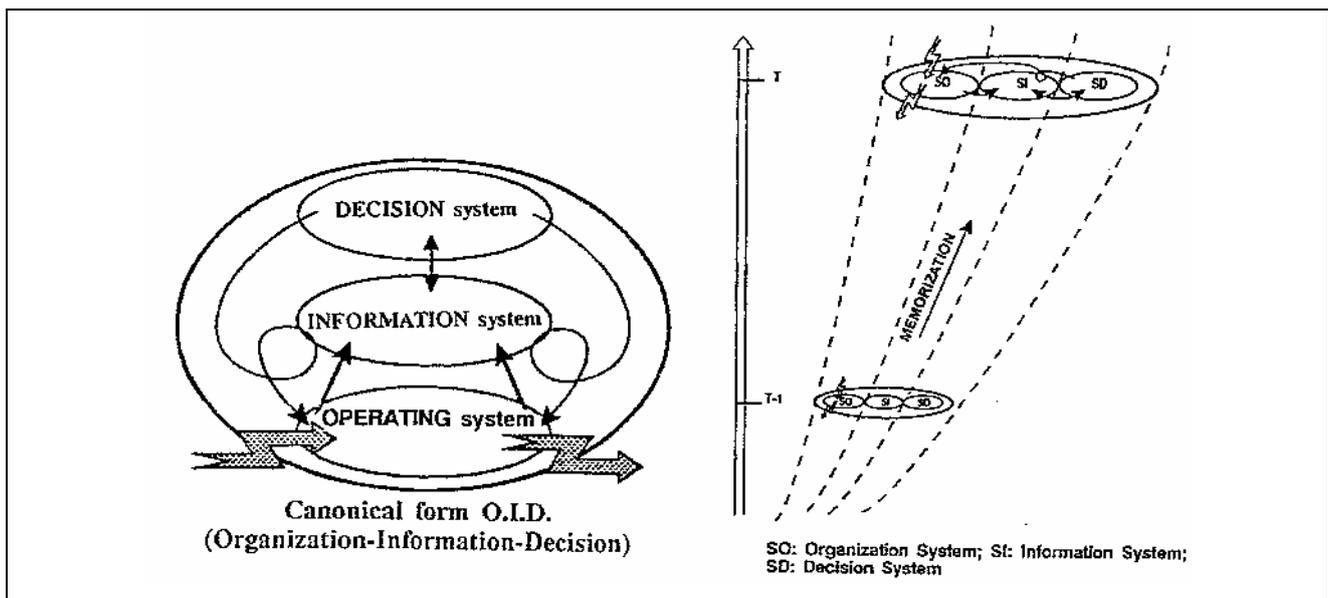
The formalisation of the conjunction of these two conjunctions which are both recursive:



expresses the AUTONOMY of ORGANIZATION of a COMPLEX SYSTEM

Cette articulation entre le "S.G. - Matrice" et le "S.G. - Procédure" s'argumente par *le formalisme du Système-Organisation* s'exprimant par une forme canonique que l'on peut établir soit en partant de la conception systémique classique (voir, par exemple JL. Le Moigne 1977-1990, p, 141), soit en partant de la conception organisationnelle (dualité de l'organisant et de l'organisé : voir par exemple JL Le Moigne 1984), Cette *forme canonique* du Système – Organisation va permettre de mettre en évidence la fonction de mémorisation inhérente à la modélisation de tout phénomène perçu complexe, entre les fonctions de symbolisation (ou d'auto représentation) et de finalisation, privilégie plus spontanément les formes canoniques du système général pour la première et de l'organisation pour la seconde.

On doit se borner ici à rappeler pour mémoire l'idéogramme représentant cette forme canonique dite du "système-organisation" devenue familière aux praticiens de la conception des systèmes d'information,



IV. DES FORMES CANONIQUES AUX FORMALISMES DE LA M.S.

De même qu'il ne suffit manifestement pas de disposer d'un bon outil pour bien s'en servir, la disposition des quelques-unes des formes canoniques par lesquelles nous nous sommes proposés de définir les premiers formalismes de la modélisation systémique ne suffit pas à une pratique agile de la modélisation à fin d'intervention dans les systèmes perçus complexes. La compétence, là comme ailleurs, s'acquiert par l'expérience, mais, peut-être plus qu'ailleurs, cet apprentissage est rendu difficile par la complexité de l'évaluation des performances. La critique du raisonnement

calculateur (*La raison pure*) est plus aisée que la critique du raisonnement délibératif (*La faculté de juger*), Apprentissage compliqué encore par cette illusion si courante, soulignée récemment encore par P. Watzlawick²⁷ *et qui paraît si logique, qui veut qu'un problème très complexe ne puisse être résolu que par une stratégie de complexité au moins égale.*

Illusion tellement courante que je peux craindre que les experts-és/systèmes-complexes que sont par exemple les responsables de grands systèmes administratifs (recherche, culture, éducation, aménagement, etc.) qui auraient commencé à lire cette étude, abandonneront leur lecture avant cette conclusion, tant ils tiendront pour insuffisamment compliquées les quelques formes canoniques que l'on vient de présenter fort succinctement comme les formalismes de la M.S. Les formalismes résolutoires de la théorie des systèmes dynamiques non linéaires (et les riches appareils symboliques qui les accompagnent, chaos, bifurcation, catastrophes, complexité Non-Polynomiales, etc...) par exemple, leurs semblent beaucoup plus dignes d'attention, et ils regrettent que tant de méditations épistémologiques préalables les détournent de ce qui doit leur importer: maîtriser la complexité par plus de complexité encore. La relative simplicité formelle des formalismes de la M.S. n'est pas susceptible de les rassurer sur sa pertinence, même si on leur rappelle que la relative simplicité du génotype les conduira peut-être à une meilleure intelligibilité de la complexité des modèles phénotypes qu'ils construiront à partir de ce génotype.

‘Est-il modèle plus complexe que celui du *«Discours sur la Montagne»*, et pourtant nous le tenons comme l'exemple parfait de la simplicité biblique’ rappelait il y a longtemps E. Morin. Certes ajoutait-il plus récemment²⁸, *‘la complexité appelle la stratégie’*, mais cette stratégie est une stratégie de la modélisation et non une stratégie de la résolution. (Une solution finale ?): les symboles décidément nous aident à penser dans la complexité !) ; Autrement dit, les stratégies qu'appellent la complexité sont les stratégies de l'intelligence, de la reformulation des problèmes, de la refinalisation des systèmes, de la renégociation permanente, des relations des acteurs, de la construction téléologique de nouvelles représentations, de la symbolisation-mémorisation-finalisation.

A la différence de la modélisation analytique, la modélisation systémique (et la dialectique, dont elle est souvent la descendante) ne prétend pas d'abord à la résolution, mais à la compréhension. L'hypothèse de la complexité du monde connaissable invite à produire quelques sens multiples, sans doute enchevêtrés et s'auto transformant dans cette complexité. H.A. Simon présente cet argument en d'autres termes, en observant que les modes de résolution que nous pratiquons naturellement et que nous pouvons souvent simuler artificiellement, sont des modes

tâtonnants et téléologiques de transformations successives et interminables de représentations : *'Searching is the end'*²⁹.

Les formalismes de la modélisation systémiques nous invitent sans cesse à concevoir d'autres représentations et donc d'autres systèmes de symboles, par de multiples et simples heuristiques investigatrices ("*heuristic search*") visant à explorer de façon tâtonnante les fins intermédiaires que permettent le moyen ou le modèle que l'on vient de reconnaître, puis les moyens ou les modèles nouveaux que nous suggèrent la fin intermédiaire que l'on vient de se proposer. Ces exercices tâtonnants qui guident les formalismes de la M.S. (*'Quoi ?, Dans, Pour, Devenant quoi?'* ; *'Si organisé, alors organisant, donc informant, donc informé, donc mémorisant, donc finalisant'*, etc...) peuvent prendre les tours plus formels que proposent aujourd'hui les langages et les outils de l'Intelligence Artificielle (*'Mean-end analysis'* ; *'Hill-climbing processes'* ; *'Blackboard'* ; *'Alerteurs'* ; *'Browsers'* ; interfaçages graphiques, hypermédias etc..). Ils nous ramènent toujours, entre hasard et nécessité, à la quête des projets du modélisateur, et donc au projet fondateur de la modélisation systémique : *'Symbol and search'*, détours (tropes) et procédures (topes), Disegno et Ingénium. ...

Ne demandons pas trop à la méthode, fut-elle celle de la M.S. Car, concluait G.B. Vico, *'La méthode nuit à l'ingéniosité ; et l'ingéniosité a été donné à l'homme pour savoir, c'est à dire pour faire'*³⁰. On comprendra que cet appel à l'ingéniosité dans la représentation (symbole et "shunks") comme dans le raisonnement (topos) ne nous encourage pas à pousser plus avant ici la discussion des formalismes de la M.S. Il faut pourtant, en guise de conclusion, inviter le lecteur à poursuivre cet exercice à fin pédagogique.

D'autres formes canoniques de la communication (code et canal, assimilation et accommodation), de la décision (Intelligence, conception, sélection), de la cognition (symbolisation, computation), de la finalisation (géno-phéno-telos), se construisent et se rééquilibrent mutuellement dans une ingénierie qui n'est plus d'application mais de conception.

Entendons l'élucidation de ces prochains formalismes de la M.S. par la parabole du peintre devant sa toile que nous propose H.A. Simon³¹.

'Dans la réalisation d'une peinture à l'huile, chaque nouvelle touche de couleur déposée sur la toile crée une sorte 'organisation qui fournit une source continue d'idées nouvelles au peintre. L'action de peindre est un processus d'interaction cyclique entre le peintre et la toile, dans lequel les objectifs en cours conduisent vers de nouveaux coups de pinceaux pendant que l'organisation graduellement changeante du tableau suggère de nouveaux objectifs. ...'

NOTES

- ¹ Cf. H.A. Simon: "Reason in human affairs" (1983).
- ² Références à l'article "Représentation et Connaissance" de J. Ladrière dans l'Encyclopedia Universalis : les deux faces du concept de représentation, la passive (le résultat) et l'active (l'action) y sont caractérisés par ces deux images de la représentation: diplomatique pour la première, théâtrale pour la seconde.
- ³ Référence à la parabole de "l'abeille et l'architecte" proposée par K. Marx dans le Capital (Ed. Pléiade, T.I., p. 728).
- ⁴ Référence à mon article sous ce titre, "l'intelligence de la complexité", dans UNU "Sciences et Pratiques de la Complexité" 1984/1986.
- ⁵ Rédigée en latin sans doute vers 1629 avant le Discours de la Méthode (1637) et inachevée (21 règles sur les 36 annoncées). Ce texte fut publié que cinquante ans après la mort de Descartes (voir les Oeuvres, dans l'édition Pléiades).
- ⁶ "Les logiciens réservent au terme formalisatio le sens de l'élaboration d'un système logique formel" L. Frey dans P. Fraysse (Ed) : "Les modèles et la formalisation du comportement", 1967, p 328
- ⁷ Dans P. Fraysse (Ed) 1967; 7a, p 06, 7b, p 30
- ⁸ Je pense par exemple à Y. Barel. Voir "Sur l'invention de la «Nouvelle Dialectique» selon Yves Barel", dans M. Amiot, L. Brahm et I. Billard, (Eds) : "Système et paradoxe; autour de la pensée d.Y Barel", Ed. du Seuil, 1993
- ⁹ Cette interprétation de la pensée de Pierce a été souvent reprise. Elle fut, je crois, présentée pour la première fois, par G.G. Granger dans "L'Epistémologie génétique et l'étude de la pensée symbolique" dans un recueil collectif d'hommage à J. Piaget (R.E.S.S, Tome XIV, 1976, N°38-39, pp. 203-218).
- ¹⁰ (10) Ces deux fonctions conjointes du symbole sont présentées par A Newell et H.A. Simon, tant dans "Human Problem Solving", 1972, pp. 24-34, que dans leur célèbre "Conférence Turing" : "Computer science as empirical inquiry, Symbol and Search", 1976
- ¹¹ Cette présentation des formalismes par la dualité des "topes et tropes" m'est suggérée par une étude de Ch. Roig, "Rhétorique cognitive: un essai sur les bases rhétoriques de la connaissance socio-politique" (1986) repris dans "Rhétorique et analyse socio-politique" publié dans G. Duprat (Ed.) : "Connaissance du politique". 1990, PUF. Dans cette étude, cette dualité est présentée de façon beaucoup plus fine et nuancée que je ne peux le faire ici
- ¹² Cf. P. Watzlawick, (Ed.), "L'invention de la Réalité" 1981/198
- ¹³ Cf. ses articles dans Y. Rey et B. Prieur. Ed., 1991. p. 55.
- ¹⁴ Sur cet article de 1943. ses traductions et les commentaires qu'il a suscité, voir A. Demailly et J.L. Le Moigne : "l'actualité de la téléologie". RIS. 1987.
- ¹⁵ Dans "Logique et Méthode chez Aristote", j.M Le Blond a montré l'importance considérable de la réflexion aristotélicienne sur les méthodes de raisonnement "non parfaitement syllogistique"
- ¹⁶ Voir H.A. Simon: "From Substantive to Procedural Rationality" 1976, repris dans "Models of bounded rationality". 1982. On trouvera une traduction de cet article dans PISTES. 1992, et une discussion de ces concepts dans JL Le Moigne 1993.
- ¹⁷ A. Newell et H.A. Simon ont, dans leur célèbre 'Conférence Turing', souligné l'intérêt du concept de "heuristic search" que l'on propose de traduire ici par "investigation heuristique".
- ¹⁸ G.B. Vico dans son célèbre "De la très ancienne philosophie des peuples italiens" (1710). Voir l'édition TER, 1987, p. 10 ou p. 58
- ¹⁹ Voir H.V. Foerster : "Observing Systems"
- ²⁰ Référence à une étude de J Pitrat : "Un système intelligent doit pouvoir observer son propre comportement" (1991)
- ²¹ Référence à P. Lévy "L'idéographie dynamique", 1992
- ²² Des concepts de Systémographie et Système Général sont présentés et discutés dans j.L. Le Moigne : "La théorie du Système Général" (1977, 1990) et "la Modélisation des Systèmes Complexes" (1990)
- ²³ Dans "UNU, Sciences et Pratiques de la Complexité". 1986, p. 293
- ²⁴ Cité par M. Kemp, dans la traduction de MacCurdy, CUF 502, 1162, Ce texte est interprété dans une étude de j.L, Le Moigne publiée dans F. Tinland (Ed) "Système Naturels et Systèmes Artificiels" (1991)
- ²⁵ Voir par exemple "La méthode des études" dans "La vie de G.B. Vico lui-même", éditée par A. Pons. 1983
- ²⁶ J'emprunte cette formule heureuse à F. Wolinsky qui la propose dans sa thèse de doctorat (1990, Université Paris 6, LAFORIA),
- ²⁷ Dans une étude publiée dans Y. Rey et B. Prieur. d. 1991, p. 38
- ²⁸ Dans H. Atlan, "Les théories de la complexité", actes du colloque de Cerisy, 1991-P.295
- ²⁹ Dans H.A. Simon. "Reason in human affairs", 1983, p. 7
- ³⁰ Dans G.B. Vico "De la très ancienne philosophie" p 55 de l'édition TER, 1987
- ³¹ Dans H.A. Simon "La science des systèmes.", p 166 de la traduction française (1991)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

telles qu'établies en 1992.

- [1] Amiot M, Brahms L, Billard I, eds (1993) *Systèmes et paradoxes; autour de la pensée d'Y. Barel*. Seuil, Paris.
- [2] Aristote (1967) *Rhétorique (Livres I, II, III)*. Editions Les Belles Lettres, Paris.
- [3] Aristote (1983) *Les Topiques*. Editions Librairie J. Vrin, Paris.
- [4] Aristote (1983, 1987) *Les premiers analytiques (III) et les seconds analytiques (IV)*. Editions Librairie J. Vrin, Paris.
- [5] Arnaud A, Nicole P (1970) *La logique ou l'art de penser (1662: la logique de Port-Royal)*. Flammarion-Coll. Champ, Paris.
- [6] Bachelard G (1934-1940) *Le nouvel esprit scientifique*. PUF, Paris.
- [7] Demailly A, Le Moigne JL (1987) *Actualité de la téléologie, concept scientifique par excellence*. *Rev Int Systémique* 1: 239-245.
- [8] Descartes R (1953) *Oeuvres et Lettres*. Gallimard-La Pléiade, Paris.
- [9] Diderot D (1779) *L'Encyclopédie, Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. Vol. 32. Editions Pellet, Genève.
- [10] Dupuy JP (1986) *Autonomy and complexity in sociology*. In: *The Science and Praxis of Complexity*. United Nations University, Tokyo, pp 255-266.
- [11] Frey L (1967) *Langages logiques et processus intellectuels*. In: *Les modèles et la formalisation du comportement*. Editions CNRS, Paris, pp 327-340.
- [12] Hegel F (1972, 1976, 1981) *Science de la logique*. 3 Vol., Editions Aubier, Paris.
- [13] Klir J, Valach M (1966) *Cybernetic Modelling*. Hiliffe Books LTD, London.
- [14] Kuhn TS (1962, 1970) *The Structure of Scientific Revolutions*. The University of Chicago Press, Chicago, 111.
- [15] Ladrière J (1989) *Représentation et Connaissance*. Encyclopaedia Universalis, Paris.
- [16] Le Blond JM (1939-1973) *Logique et méthode chez Aristote*. Editions Librairie J. Vrin, Paris.
- [17] Le Moigne JL (1977, 1990) *La théorie du système général, théorie de la modélisation*. 2ème ed. augmentée; 3ème édition augmentée. PUF, Paris.
- [18] Le Moigne JL (1980) *Une axiomatique: les règles du jeu de la modélisation systémique*. *Economie et Société*, série E.M. n° 6, tome xiv, nos 8, 9, 10.
- [19] Le Moigne JL (1984) *Trois théorèmes de la théorie générale de l'organisation*. In: *Colloque "Développement des sciences et pratiques de l'organisation"*. AFCET, Paris.
- [20] Le Moigne JL (1985) *The intelligence of complexity*. In: *The Science and Praxis of Complexity*. United Nations University, Tokyo, pp 35-61.
- [21] Le Moigne JL (1987) *Les nouvelles sciences sont bien des sciences: repères historiques et épistémologiques*. *Rev Int Systémique* 1(3): 295-318.
- [22] Le Moigne JL (1989) *Quelle épistémologie pour une science des systèmes naturels "qui sont avec cela artificiels" ?* *Rev Int Systémique* 3(3): 251-272.
- [23] Le Moigne JL (1989) *La science des systèmes*. Encyclopaedia Universalis, Paris.
- [24] Le Moigne JL (1990) *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod, Paris.
- [25] Le Moigne JL (1990) *Epistémologie constructiviste et science de l'organisation*. In: AC Martinet, ed, *Epistémologie et science de gestion*. Economica, Paris.
- [26] Le Moigne JL (1991) *Sur les fondements épistémologiques de la science de la cognition*. In: E Andreewsky, ed, *Systémique et Cognition*. Dunod, Paris, pp 11-49.
- [27] Le Moigne JL (1991) *Voir la nature avec les yeux de l'art*. In: F Tinland, ed, *Systèmes naturels et systèmes artificiels*. Editions Champ-Vallon, Coll. Milieu, 01420 Seyssel, France.
- [28] Le Moigne JL (1992) *The second principle of organizational engineering: the general intelligent action principle*. In: *Proc Int Conf Economics and Artificial Intelligence*. CEMIT 92/CECOIA III/JASMIN, Tokyo, pp 33-38.

-
- [29] Le Moigne JL (1993) Sur la capacité de la raison à discerner Rationalité Substantive et Rationalité Procédurale. In: JC Passeron, LA Gérard- Varet, eds, Calculer et raisonner, les usages du principe de rationalité dans les sciences sociales. Editions de l'EHESS, Paris, chap. 2.
- [30] Lévy P (1991) L'idéographie dynamique. Editions Le concept moderne, Genève.
- [31] Marx K (1965) Oeuvres -Economie. 2 Vol. Gallimard-La Pléiade, Paris.
- [32] Morin E (1977) La Méthode. La nature de la nature. Vol 1. Seuil, Paris.
- [33] Morin E (1980) La Méthode. La vie de la vie. Vol 2. Seuil, Paris.
- [34] Morin E (1986) La Méthode. La connaissance de la connaissance. Vol 3. Seuil, Paris.
- [35] Morin E (1991) La Méthode. Les idées, leur habitat, leur vie, leurs moeurs, leurs organisations. Vol 4. Seuil, Paris.
- [36] Morin E (1991) De la complexité: complexus. In: F Fogelman Soulié, ed, Les théories de la complexité; autour de la pensée d'Henri Atlan. Actes du colloque de Cerisy, Seuil, Paris, pp 283-296.
- [37] Newell A, Simon HA (1972) Human Problem Solving. Prentice Hall Inc., Englewood-Cliffs, New Jersey.
- [38] Newell A, Simon HA (1976) Computer science as empirical inquiry: symbols and search. Communication of the ACM 19: 113-126.
- [39] Pascal B (1963) Oeuvres complètes. Seuil, Paris. (See English translation in Great Books of the Western World. Vol 33. Encyclopaedia Britannica, Inc., Chicago, 1952).
- [40] Pierce CS (1987) Textes fondamentaux de sémiotique. Editions Méridien, Klincksiecke, Paris.
- [41] Piaget J (1967) Logique et connaissance scientifique. Gallimard-Encyclopédie de la Pléiade, Paris.
- [42] Piaget J (1976) Les sciences sociales avant et après Jean Piaget (Hommage publié à l'occasion du 80ème anniversaire de Jean Piaget et précédé de son autobiographie) (Busino G, ed.). Rev Europ Sci Soc, tome XIV, nos 38-39. Droz, Genève.
- [43] Pitrat J (1991) An intelligent system must and can observe its own behaviour. In: Actes COGNITIVA. Editions AFCET, Paris.
- [44] Rey Y, Prieur B (1991) Système, éthiques, perspectives en thérapie familiale. Editions ESF, Paris.
- [45] Roig C (1990) Rhétorique et analyse socio-politique. In: G Duprat, ed, Connaissance du politique. PUF, Paris, pp 96-133.
- [46] Simon HA (1967) The use of information processing languages in psychology. In P Fraysse, ed, Les modèles et la formalisation du comportement. Editions du CNRS, Paris, pp 303-317.
- [47] Simon HA (1977) Does scientific discovery have a logic ? (1973). In: [48].
- [48] Simon HA (1977) Models of Discovery. D. Reidel Pub., Dordrecht, Holland.
- [49] Simon HA (1969, 1981) The Sciences of the Artificial. MIT Press, Cambridge Mass.
- [50] Simon HA (1982) From substantive to procedural rationality, 1976. In: HA Simon, ed, Models of Bounded Rationality. Vol. 2 .MIT Press, Cambridge Mass, p 424-443.
- [51] Simon HA (1983) Reason in Human Affairs. Stanford University Press, Ca.
- [52] Simon HA, Langley P, Bradshaw GL, Zytkov JM (1987) Scientific Discovery Computational Exploration of the Scientific Processes. MIT Press, Cambridge Mass.
- [53] Valéry P (1979) Cahiers 1894-1945. 2 Vol. Gallimard-Pléiade, Paris.
- [54] Valéry P (1972) Oeuvres complètes. 2 Vol. Gallimard-Pléiade, Paris.
- [55] Vico GB (1981) Vie de G.B. Vico écrite par lui-même (suivi de La méthode des études de notre temps 1708). Grasset, Paris.
- [56] Vico GB (1987) De la très ancienne philosophie des peuples italiens (1710). Editions Trans Europ Express, 32120 Monvezin, France.
- [57] Vinci L (1987) Les carnets de Léonard de Vinci. 2 Vol. Gallimard-Coll. TEL, Paris.
- [58] Von Foerster H (1984) On self organizing systems and their environments. In: Observing Systems. Intersystems Publications Seaside, Cal., pp 2-22.

[59] Von Foerster H (1991) Ethique et cybernétique de second ordre. In: Y Rey, B Prieur, eds, *Système, Ethiques, Perspectives en thérapie familiale*. Editions ESF, Paris. (See English translation: *Ethics and Second Order Cybernetics*. In: *Cybernetics and Human Knowing*. Vol 1, n° 1, pp 9-19, 1992).

[60] Watzlawick **P** (1988) *L'invention de la réalité -Contribution au constructivisme*. Seuil, Paris.

[61] Wolinski F (1990) *Thèse de doctorat*. Université Paris 6 (LAFORIA).