

Revue Internationale de

ISSN 0980-1472

systemique

Vol. 3, N° **3**, 1989

afcet

Dunod

AFSCET

Revue Internationale de
systemique

Revue
Internationale
de Sytémique

volume 03, numéro 3, pages 251 - 271, 1989

Quelle épistémologie pour une science
des systèmes naturels
“qui sont avec cela artificiels” ?

Jean-Louis Le Moigne

Numérisation Afscet, décembre 2015.



Creative Commons

QUELLE ÉPISTÉMOLOGIE POUR UNE SCIENCE
DES SYSTÈMES NATURELS
« QUI SONT AVEC CELA ARTIFICIELS » ?

Jean-Louis LE MOIGNE
Université d'Aix-Marseille III¹

Résumé

Les entreprises de connaissance des systèmes artificiels, que l'on entend par leur capacité adaptative téléologique, nous conduisent à identifier les univers de modélisation dans lesquels nous pouvons les décrire. Les limites de l'univers de modélisation habituel des phénomènes naturels s'avèrent pertinentes dès que l'on souhaite rendre compte des processus de conception-invention-description des systèmes artificiels. A ces limites méthodologiques se superposent des limites épistémologiques sévères : les épistémologies positivistes, qui s'avèrent parfois moins adéquates qu'on ne l'attendait pour rendre compte des phénomènes naturels, s'avèrent, en pratique, plus inadéquates encore pour la production et la validation des énoncés relatifs aux systèmes artificiels. On montre que l'on sait formaliser un autre univers de modélisation, adéquat à la conception des phénomènes artificiels ; et on souligne la pertinence et la fécondité des épistémologies constructivistes (que le développement des sciences de l'artificiel a contribué à promouvoir), pour argumenter la production et la validation des énoncés relatifs aux systèmes « artificiellement » intelligents (les artefacts, notamment). Cette réflexion sur la modélisation des systèmes artificiels suggère une reconsidération de la modélisation des phénomènes naturels : en les représentant par des systèmes, on peut les interpréter en terme de systèmes en s'aidant des cadres conceptuels établis par les épistémologies constructivistes. Ne peut-on tenir pour une révolution paradigmatique cette renaissance contemporaine des épistémologies constructivistes qui, assurant les recherches en matière de systèmes artificiels, ouvrent aux sciences de la nature des ressources nouvelles au moins en terme méthodologique.

1. Faculté d'Economie Appliquée, GRASCE, (CNRS 935)
3 avenue R. Schuman, 13100 Aix-en-Provence, France.

Abstract

The modeling processes usually used to describe in terms of knowledge the natural phenomenas appear often rather limited ; they are less adapted again to the understanding of the design processes of knowledge about artificial systems. Beyond those methodological limitation, appear some fundamental epistemological arguments : *positivist* epistemologies seem less satisfying than anticipated to describe natural systems, and less satisfying again to describe artificial systems. We argue here that *constructivist* epistemologies (redevelopped recently by the Sciences of the Artificial and the Sciences of Cognition) are today well adapted to the production of knowledge concerning "artificially intelligent systems" ; and that they also appears well adapted to some new modeling and understanding of natural phenomenas, seen as general, teleological, adaptive systems, natural and artificial.

C'est Claude Bernard sans doute qui donna en 1865 le coup de grâce à la vivace métaphore des «Systèmes Naturels» tant prisée par les scientifiques au détour du XIX^e Siècle : ainsi Condillac publiant son «*Traité des Systèmes*» [1] en 1750, Lamarck publiant en 1801 un «*Système des animaux sans vertèbre*» ou Laplace son «*Exposition du Système du Monde*» en 1796. «*Les Systèmes ne sont pas dans la Nature, bougonne l'auteur de la Médecine Expérimentale, mais dans l'esprit des hommes*» [2]. La cause désormais sera entendue, et l'on ne pourra plus dire d'un système tel que celui des règles de l'harmonie musicale établi par «l'illustre M.Tartini» que «*s'il n'est pas celui de la nature, il est au moins, de tous ceux qu'on a publiés jusqu'ici, celui dont le principe est le plus simple et duquel toutes les lois de l'harmonie paraissent naître le moins arbitrairement*» [3], comme pouvait l'assurer vers 1760 le volumineux article «Système» de «*L'Encyclopédie raisonnée des sciences, des arts et des métiers*» mise en ordre par M.D. Diderot). L'argument de Claude Bernard avait le double mérite de l'évidence sensible (qui a jamais positivement «vu» un système ?) et de la cohérence épistémologique (le positivisme épistémologique était alors seul garant de scientificité, récusant la notion même de système, rebelle par hypothèse à toute dissection finie). Un siècle plus tard, ne devons-nous pas nous étonner de cet impressionnant retour en force de la notion de Système ? C'est un autre biologiste, Ludwig Von Bertalanffy, qui tenait volontiers Claude Bernard pour «*un grand*

précurseur dont l'oeuvre n'est pas encore reconnue à sa juste valeur» [4] qui pouvait relancer, avec l'éclat que l'on connaît, «la théorie générale du Système», en l'inaugurant par cette formule provocante : «*Partout autour de nous, des systèmes !*» [5]. Cruel démenti pour Claude Bernard ? ou impérialisme épistémologique laxiste de L.Von Bertalanffy ?

Sciences des systèmes : Sciences de l'Artificiel ?

Convenons que l'argument de Claude Bernard demeure incontournable : nul n'a jamais «vu» de système dans la Nature, et s'il est loisible de croire qu'au premier jour de la genèse, un Dieu créa le Système en général puis moula la Nature autour au fil des six journées suivantes, il n'est pas légitime d'imposer cette hypothèse comme la loi régissant l'univers validable expérimentalement. Pendant un siècle, les sciences de la Nature purent d'ailleurs s'épanouir sans en appeler sans cesse au concept de Système : le concept de «théorie» faisait fort bien l'affaire, puisant dans la théorie des ensembles l'appareillage méthodologique dont la Science avait besoin pour exposer ses progressives «découvertes» des lois de la Nature. Et le génial L. Boltzman montrait bientôt les vertus d'un autre concept qui connaît encore une vague durable, celui de Modèle [6]. Théorie, modèle, système ? : H.A. Simon et A. Newell, réfléchissant sur l'éventuelle synonymie des concepts de théorie et de modèle vers 1955 remarquaient déjà les risques de confusion que la naissante théorie générale du système de L. Von Bertalanffy pouvait susciter [7]. La notion de Système allait-elle donc réapparaître dans le champ des sciences un siècle après la mise en garde de C. Bernard ? Sans doute rentrait-elle alors par la petite porte, celle que les académies ne surveillaient pas avec autant de soin : non pas, quoiqu'en ait dit et écrit L. Von Bertalanffy dans les années cinquante et soixante, dans le champ des sciences de la nature [8], mais dans celui des sciences de l'artificiel. Depuis l'émergence en 1948 de la Cybernétique, Science de la Communication et de la Commande (N.Wiener), les systèmes artificiels, projets construits par l'homme et non pas objets donnés à l'homme par la nature («objets naturels» que sans doute on désignait lorsqu'on parlait improprement de «systèmes naturels»), les systèmes artificiels s'avéraient identifiables, projets sinon objets de connaissance : ainsi se dégageaient de nombreuses «nouvelles sciences» [9], que dans un essai célèbre dont on n'a pas encore, en particulier en francophonie, extrait tout le suc épistémologique, H.A Simon appellera «*The Sciences of the Artificial*», que l'on peut traduire correctement par «Les Sciences des systèmes artificiels» [10].

Si nous ne savons pas reconnaître et définir les systèmes naturels, il apparaît en effet, Claude Bernard ne l'avait pas contesté, que l'on peut reconnaître et définir correctement les systèmes artificiels, ces « artificieuses machines » qu'A. Ramelli dessinait déjà si joliment en 1588^[11] : s'ils ne sont pas dans la nature, les systèmes sont dans l'esprit de l'homme : il sait les concevoir, les dessiner, « *les construire dans sa tête avant de les construire dans sa ruche : la supériorité de l'architecte le plus médiocre sur l'abeille la plus experte* »^[12] tient à cette capacité de concevoir une artificieuse machine, un système artificiel. Un système que l'on peut en effet tenir pour système parce qu'il se définit sur le paradoxe fondateur : composé de parties, il est irréductible à la somme de ces parties, il s'entend par ses projets ou ses fonctions, et non par ses organes ; il est ce que l'esprit cherche et qui pourtant n'existe pas encore ; il est descriptible par quelques représentations symboliques intelligibles sans pourtant témoigner de la moindre existence matérielle ; il est cette 'mécane', ruse, tromperie, artifice »^[13], qui permettra, par projet, de piéger la Nature : contre Nature, l'Artefact.

La connaissance des systèmes artificiels (et donc les sciences de l'artificiel) va dès lors se construire non plus sur l'artifice fini, achèvement éphémère d'un système artificiel (qu'il soit monument, ordinateur ou manuel scolaire), mais par le processus étonnant et enchevêtré des activités de l'esprit humain élaborant desseins et dessins pour enfin, parfois produire un objet contingent – objet qui, lorsqu'il quittera la carte pour s'inscrire tangiblement dans le Territoire de la Nature, jouera le jeu du naturel, et dès lors cessera d'être système : avec ou sans parachute, la pierre qui tombe n'est pas un système naturel. Mais avec un parachute ou lancée par une catapulte, elle nous désigne un système artificiel : il y a nécessairement eu projet, conception (design), dessin, traitement de symbole, ingénierie. Ce n'est plus l'objet passif et sans nécessité, qu'ici on interprète, c'est le processus dont cet objet est un moment qu'on veut comprendre, intentionnellement. Les sciences de l'artificiel deviennent dès lors sciences des systèmes, puisqu'il n'est artifice que système téléologique. Et le projet qui fonde les sciences des systèmes est celui des commentaires de la conception-construction de ces représentations symboliques par lesquelles s'élaborent ces artifices qui « *prendront corps à la rencontre, à l'interaction, d'une intention avec la nature* »^[14]. Les sciences des systèmes, la systémique^[15], se définissent par le problème de la création d'un interface entre la nature (le monde extérieur) et le projet des concepteurs. Ainsi H.A. Simon définira l'artefact qu'est « *l'Eglise du Mont*

Saint Michel, mêlée encore au rocher qui la porte : ... sur ce drame des forces naturelles, la marée galopante, bâtir une oeuvre édifiante »^[16]. Et ceci par le jeu de la modélisation et de la symbolisation.

La modélisation du « Second Univers Naturel » : Le Disegno

Léonard de Vinci avait reconnu cette étonnante différenciation dont l'esprit humain est capable : entre ce qu'il appelait « le premier univers naturel »^[17], celui où nous percevons et représentons des objets tangibles que nous reconnaissons assujettis à quelques règles, un univers fini qui s'achève « *au point où la nature s'arrête de produire ses espèces* »^[18a] ; et le « *second univers naturel* », dans lequel les règles du premier univers « *ne confinent pas l'inventivité humaine à un champ d'action qui lui serait propre ; bien au contraire, le « second univers naturel » s'étend virtuellement à l'infini, pourvu qu'il prenne pour fondement les règles du « premier univers naturel »* »^[18b]. « *L'homme avec les choses naturelles crée, à l'aide de cette nature, une variété infinie d'espèces* »^[18c]. Des systèmes artificiels, dirions-nous aujourd'hui.

Les lecteurs familiers des cahiers de Paul Valéry, fin lecteur de Léonard de Vinci^[19], reconnaîtront sans doute la distinction qu'il médita toute sa vie entre l'Univers Φ , celui des phénomènes physiques, et l'Univers Ψ , *celui des phénomènes mentaux*^[20]. Archimède ou L. de Vinci ou G.B. Vico connaissaient et enseignaient la puissance et les limites des raisonnements puisant dans chacun des deux univers, et savaient la puissance de leur méthode, qui est de modéliser :

« *La Représentation (le « Disegno ») est d'une excellence telle qu'elle ne fait pas que montrer les œuvres de la nature, mais qu'elle en produit des formes infiniment plus variées... Elle surpasse la Nature parce que les formes élémentaires de la Nature sont limitées, tandis que les œuvres que l'œil exige des mains de l'homme sont illimitées* »^[21].

Par la modélisation, le Disegno selon Léonard de Vinci, l'Ingenium selon G.B. Vico^[22], nous accédons non seulement à la compréhension de l'Univers Φ limité aux phénomènes naturels, mais aussi à celle de l'Univers Ψ des phénomènes artificiels ; et nous le découvrons inépuisable.

Le message de Léonard de Vinci, comme celui de G.B. Vico ne furent guère entendus dans les trois siècles qui suivirent. « Le discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences »

invitait prudemment l'esprit humain à limiter son exploration au seul univers Φ des phénomènes naturels («objectivables»). Plutôt que de batifoler dans le champ des possibles, concentrons d'abord nos rares ressources cognitives à l'examen scrupuleux du champ des nécessités... lesquelles font lois ! Et puisque nous disposions d'une heuristique d'une exceptionnelle fécondité apparente pour ainsi décrire et entendre la Nature, le raisonnement selon le *Principe de Moindre Action*, on comprend que, de Descartes à Einstein par la formulation du si adéquat calcul infinitésimal, la Science ait été trop occupée pour explorer autre chose que les phénomènes naturels. Lorsqu'il lui fallait quand même intervenir dans l'ordre des phénomènes artificiels, il lui était facile de procéder à une «application» des théories à l'usage des ingénieurs (lesquels sont encore aujourd'hui formés aux méthodes de l'*application* bien plus qu'à celles de l'*Ingenium* et du *Disegno*). Une projection de l'Univers Φ dans l'Univers Ψ en quelque sorte, ce dernier étant supposé neutre... ou subalterne. («*L'imagination ne doit jouer qu'un rôle subalterne, toujours aux ordres de l'observation*» concluait A. Comte ^[23]).

Cette exploration du «monde fini» (P. Valéry) de l'Univers Φ par les sciences de la Nature s'achève-t-elle avec la mort d'A. Einstein ? «*Le miracle des lois physiques est un miracle isolé*» observe ironiquement R. Thom ^[24]. Mais la compréhension de la Nature ne se réduit peut-être pas à la découverte de quelques «règles» fondamentales. Il reste qu'avec la progressive émergence des nouvelles sciences, sciences des systèmes ou sciences de l'artificiel, l'Univers Ψ redevient digne d'exploration scientifique. Est-ce le fait de l'exceptionnelle demande sociale toujours avide sinon de «diverses et artificieuses machines», au moins de quelques repères pour appréhender un monde si imprégné d'artefacts que sa naturalité semble s'évanouir ? Ou celui de la lassitude des esprits scientifiques découragés d'avoir à gratter sans fin une parcelle toujours plus étroite et plus desséchée, du champ des sciences de la nature, lassitude qui les incite à franchir le rubicon académique qui sépare l'Univers Φ de l'Univers Ψ ? Peut-être s'agit-il plus banalement d'une des oscillations profondes de la culture humaine, privilégiant tour à tour l'*analyse* puis la *conception* (le *Disegno*) ? La réponse sans doute est complexe, enchevêtrant encore d'autres arguments. Mais pour l'observateur attentif à l'exceptionnel surgissement des sciences de l'artificiel au cœur de toutes les sociétés contemporaines, que l'on cite les sciences informatiques, les sciences de la communication, de l'organisation ou de la chimio-pharmacologie ou les sciences de la cognition, pour cet observateur, les sciences qui font projet de l'étude des systèmes artificiels connaissent depuis quelque trente ans une vitalité qui va s'amplifiant.

Le temps du monopole épistémologique des Positivismes

Une vitalité qui contraste avec l'apparente morosité de quelques sciences de la nature, et, surtout avec l'inattention culturelle par laquelle sont reçues ces «nouvelles sciences» : la tension des rapports longtemps paisibles entre Science et Société, et donc entre Nature et Culture ^[25] semble s'accroître parfois dramatiquement pendant que de partout on appelle à quelque retour au (sciences du) naturel ?

L'examen des raisons de ce décalage complexe entre les statuts épistémologiques des sciences de la nature et des sciences de l'artificiel et entre les cultures dites scientifiques et techniques, (à moins que ce ne soit entre «les deux cultures» ^[26], celle de l'humaniste (les «Arts Libéraux») et celle du géomètre (les «Arts Mécaniques») ^[27]), suggère de reprendre les termes d'une discussion proprement épistémologique proposée il y a un demi-siècle par G. Bachelard (le «Nouvel Esprit Scientifique» paraît en 1934) : débat trop longtemps délaissé par les tenants des sciences de l'artificiel autant que par ceux des sciences de la Nature : je veux parler ici des crises successives des épistémologies positivistes et de la progressive ré-émergence des épistémologies constructivistes.

Lorsqu'émergent les premières sciences de l'Artificiel à partir de 1948 ^[28], leurs initiateurs ont une notoriété de mathématiciens (N. Wiener, J. Von Neuman) si assurée que l'on s'interroge rarement sur le statut épistémologique de ces disciplines qui prennent pour objet un concept artificiel (la commande, la communication, la computation, ...) et non plus un objet naturel. N. Wiener a peut-être tenté d'avertir les épistémologues en publiant en 1943 ^[29] un manifeste anti-positiviste, mais on n'y prête guère attention. Un bon mécanicien, R. Taylor, tentera en 1950 ^[30] d'interpeler le statut qu'ainsi N. Wiener et ses amis donnaient à la Téléologie au cœur de la construction scientifique, mais on reste sur le ton des réponses courtoises apparemment vite oubliées. Lorsqu'en 1960, le manifeste de N. Wiener sera traduit en français dans une revue de philosophie ^[31], on ne fera même plus allusion à la controverse proposée par R. Taylor : comme si la thèse allait de soi. Cette indifférence tenait sans doute au fait que ce manifeste provocant semblait adressé à des épistémologues (qui l'ignoraient) et pas aux pionniers des nouvelles sciences. Seul H.A. Simon, parmi ces pionniers, y prêtera attention, mais c'est précisément parce qu'il fut longtemps le seul à être attentif au statut des nouvelles sciences : cet article de N. Wiener corroborait ce qui allait devenir sa thèse en 1969, il ne pouvait que s'en féliciter ^[32].

Si l'on excepte cette contribution d'H.A. Simon, que l'on sait aujourd'hui décisive, il semble que pendant près de vingt ans, toutes les communautés scientifiques « firent comme si » le socle institutionnel des épistémologies positivistes puis néo-positivistes, élaborées d'A. Comte à R. Carnap pour supporter les sciences de la Nature, demeurait adapté à la justification des sciences de l'artificiel : les « nouvelles sciences » étaient implicitement tenues pour des sciences comme les autres, et il y avait quelque incongruité à proposer de les désigner différemment : un des rares épistémologues officiellement associé au développement de l'une d'entre elles, la Recherche Opérationnelle, C.W. Churchman protesta hargneusement contre l'idée même d'une telle distinction lorsque H.A. Simon la proposa en 1969^[33] : ne risquait-elle pas de compromettre la réputation de scientificité que ces nouvelles sciences s'étaient forgées à l'ombre des sciences de la nature les mieux institutionnalisées.

La co-émergence des épistémologies constructivistes et des sciences de l'artificiel

Dans les années soixante, le « successeur » de G. Bachelard, G. Canguilhem, réfléchissant sur la notion de modèle en biologie^[34], et surtout J. Piaget, provoquant, à partir de sa réflexion sur la psychologie cognitive, le développement d'une construction épistémologique qu'il appellera d'abord « génétique »^[35], suscitèrent une reformulation d'une épistémologie « concurrente » des positivismes, que J. Piaget proposa d'appeler le *constructivisme* : à l'axiomatique positiviste fondée sur la réalité ontologique de l'objet analysable indépendamment du sujet qui l'observe, J. Piaget proposa de substituer une axiomatique constructiviste fondant la science sur des projets de connaissance plutôt que sur des objets : la connaissance est processus avant d'être résultat, et elle ne s'entend que dans les interactions du sujet et de l'objet. Le bio-cybernéticien H. Von Foerster reconnut très vite l'importance de la problématique proposée par J. Piaget, y trouvant l'assurance épistémologique des nouvelles sciences dont il était un des pionniers incontestés dans les années soixante ; et J. Piaget fut aussitôt attentif à cette contribution^[36] ; alors qu'il lui fallut attendre dix ans encore pour entendre celle d'H.A. Simon, malgré les invitations que lui adressait ce dernier dès 1965^[37]. Faut-il ajouter que, dans les mêmes années, G. Bateson, réfléchissant sur le développement des sciences de l'information et de la communication, soulignait la nécessité d'une « modification radicale » du socle épistémologique sur lequel elles

pouvaient se construire^[38] ; modification radicale que pouvait rendre possible l'appel à une Logique Non-Aristotelicienne dans les termes où l'avait formulée A. Korzybski en 1931^[39], suggérait-il en 1970. Que H. Von Foerster, (citant G. Bateson), et H.A. Simon, se soient retrouvés en 1981, au lendemain de la mort de J. Piaget, au Centre d'Epistémologie Génétique de Genève, en colloquant sur le constructivisme et le cognitivisme^[40], le fait (et les textes) constitue le témoignage sans doute le plus patent de la progressive convergence des recherches qui aboutissent aujourd'hui à l'édification d'une solide épistémologie constructiviste sur laquelle peuvent s'argumenter, s'exposer et se développer les nouvelles sciences, sciences de l'artificiel identifiées par leur projet de connaissance.

D'autres contributions, peut-être plus décisives encore doivent bien sûr être présentées à l'appui de cette thèse : on retrouvera, en concluant celles d'Edgar Morin édifiant la Méthode. Mais il faut mentionner pour son exceptionnelle qualité, celle de P. Watzlawick, héritier de G. Bateson, qui publia en 1981 en allemand un recueil d'articles de « *Contributions au Constructivisme : l'Invention de la Réalité* »^[41] : recueil qui témoigne de la possibilité et de la pertinence de cette « modification radicale » que G. Bateson appelait de ses vœux dix ans plus tôt.

Cette brève histoire de la renaissance des épistémologies constructivistes était nécessaire pour mettre en évidence leur légitimité tant sociale et culturelle qu'académique. On va certes argumenter leur pertinence (faut-il dire « leur utilité ») pour étayer les développements contemporains des sciences de l'artificiel. Mais il n'est pas indifférent de montrer qu'elles n'ont pas été élaborées a priori dans ce seul but, même si l'expérience de bien des chercheurs pionniers des nouvelles sciences (H.A. Simon, H. Von Foerster, G. Bateson...) a puissamment contribué à leur développement. Pertinentes certes pour le développement des sciences de l'artificiel, elles vont s'avérer, par un retournement qui n'est qu'apparemment paradoxal, fort bien venues pour supporter aussi les développements contemporains des sciences de la Nature : à l'heure précisément où ces dernières voient le superbe socle néo et post-positiviste qu'elles avaient fait construire, se fissurer par le jeu des contradictions axiomatiques que lui vaut la théorisation de la physique quantique en particulier^[42].

Une alternative au Paradigme Energétique

Mais le développement de cette thèse de la renaissance des épistémologies constructivistes, alternative plausible aux épistémologies post-

néo-positivistes, permettant d'argumenter le caractère discipliné et donc enseignable des sciences de l'artificiel, ne fut pas perçu rapidement par les acteurs et par les institutions concernés : il fallut en effet attendre la parution en 1977 d'un article particulièrement lucide et bien informé de l'épistémologue M. Bunge [43] pour que l'on prenne acte de l'étonnante carence épistémologique de ces nouvelles sciences toutes fondées sur l'étude des systèmes artificiels (et plus généralement donc, des sciences des systèmes, conclura M. Bunge). Même en se référant aux versions les plus modernisées – faut-il dire « Poppérisées » [44] – du post-néo-positivisme [45], les sciences de l'artificiel ne sont pas en mesure de valider leurs énoncés à l'aune des postulats du positivisme. On ne démontrera pas que la théorie des automates est fautive (falsifiable) en montrant un automate qui ne se comporte pas conformément à cette théorie : cette infraction délibérée au postulat positiviste le plus avancé et le plus rassurant, établi pour garantir le sérieux des sciences de la Nature, cette infraction devrait valoir une exclusion des champs garantis de la scientificité ! Et pourtant, au moins dans l'immédiat, il apparaît qu'il n'en est rien ; et si les nouvelles sciences n'ont guère pénétré encore les académies, qui les considèrent souvent avec une compréhensible suspicion, elles ont assez convaincu les sociétés de la pertinence de leur projet pour que ces dernières commencent à leur consacrer des budgets de recherche qui font bien des jaloux ! A qui s'interroge sur les critères de validation des énoncés produits par ces recherches, ou n'ose encore guère répondre explicitement.

Notre thèse ici est que c'est précisément à ce type de question que la renaissance des épistémologies constructivistes nous met en position de pouvoir répondre. Et au delà, de guider la formulation des prochaines questions. N'est-ce pas précisément la vocation du socle épistémologique auquel se réfère toute discipline ? Si pendant une trentaine d'années, le « flou épistémologique » qui entourait le développement de la cybernétique et des sciences a rendu supportable l'inadéquation du positivisme des sciences de la nature au développement de ces sciences de l'artificiel, il n'en va plus de même avec le développement de la Systémique et des sciences de la computation et de la cognition. Ce qu'avait fort lucidement perçu H.A. Simon publiant dès 1969 « The Sciences of the Artificial ». Il faut aujourd'hui en convenir, ne serait-ce que pour assurer les conditions socio-culturelles de validation des énoncés produits par l'Intelligence Artificielle, par exemple : c'est à dessein bien sûr que l'on cite ici la « nouvelle science » sans doute la plus contestée aujourd'hui : si l'on veut bien admettre qu'elle ne demande pas au positivisme de fonder ses énoncés, mais au constructivisme, on conviendra aisément qu'elle honore

fort correctement son contrat scientifique de production d'énoncés aujourd'hui enseignables.

Cette longue (et pourtant bien sommaire [46]) digression épistémologique, nous permet de présenter de façon mieux assurée la distinction Vincio-Valeryenne des deux univers dans lesquels l'esprit humain peut élaborer ses connaissances : l'Univers Φ , le « premier univers naturel » et l'Univers Ψ , le « second univers naturel » selon Léonard de Vinci.

Que les épistémologies positivistes soient fort pragmatiquement conçues pour organiser la représentation des connaissances dans l'Univers Φ , qui le contesterait ? : « Dans son acception la plus ancienne et la plus commune, le mot positif désigne le 'réel' » rappelait A. Comte en formulant le Positivisme [47]. L'Univers Φ repose sur un postulat ontologique, celui de la naturalité de la nature, auquel on associe une axiomaticque méthodologique très exclusive, celle des trois axiomes fondateurs de la Logique d'Aristote. Bien qu'il n'y ait en théorie que valeur heuristique, le principe de moindre action y a tant de fois manifesté sa fécondité depuis tant de siècles qu'il vaut aujourd'hui axiome complémentaire. L'Energétique en particulier s'y est développée avec la cohérence que l'on sait au point que depuis le siècle dernier, elle s'y est instituée en paradigme fédérateur de la plupart des sciences « utiles » de la Nature.

La « transformation radicale » qu'appelait G. Bateson pour exprimer les sciences de la communication et de l'organisation visait expressément la remise en cause du paradigme énergétique (« toute tentative visant à construire un cadre théorique... en empruntant à la théorie énergétique relève du non-sens et de l'erreur manifeste » [48]).

«...En terme de fonctions, de buts, d'adaptation...»

Cette remise en cause devenait celle de la pertinence de l'Univers Φ des phénomènes naturels pour exclusivement rendre compte de phénomènes artificiels tels que ceux de la communication et de ses artefacts. Des phénomènes rebelles au principe de moindre action, difficilement représentables indépendamment de leurs observateurs, que ne contraint nulle nécessité première, et susceptibles de formes infiniment variées. Et pourtant des phénomènes intelligibles, identifiables, praticables et dont la « connaissance » est manifestement tenue pour pertinente par les acteurs sociaux. Autrement dit des phénomènes susceptibles de représentation dans « le second univers naturel », celui que construit délibérément

l'homme même si c'est en tant qu'« *instrument de la nature* » (Léonard de Vinci), l'Univers Ψ .

La différenciation conceptuelle de l'Univers Φ et de l'Univers Ψ rend ainsi intelligible la possibilité effective d'une modélisation des artefacts et des processus artificiels que ne contraint pas l'axiomatique très forte de l'Univers Φ . Elle appelle en revanche une formulation de l'axiomatique propre de l'Univers Ψ et donc une construction épistémologique qui permette de l'argumenter : telle est précisément la vocation des épistémologies constructivistes. Cette axiomatique se construit précisément à partir de l'intention du modélisateur. Elle est donc d'abord *téléologique* ; on comprend mieux l'intuition fondatrice de N. Wiener postulant la légitimité du raisonnement téléologique avant même de développer la cybernétique, « première science de l'artificiel ». H.A. Simon insistera de la même façon en définissant « *les objets artificiels comme pouvant être caractérisés en terme de fonction, de buts, d'adaptation* » [49]. Et J. Piaget ne dira sans doute pas autre chose lorsqu'il fera de l'équilibration le méta-projet constitutif de toute organisation [50]. Sur cet axiome fondateur : « *Il y a artefact lorsqu'il y a adaptation délibérée d'un projet dans un environnement* » [51], peuvent se construire plusieurs axiomatiques, ou si l'on préfère plusieurs logiques : cadres explicites de raisonnement ou de rhétoriques [52] parfaitement satisfaisants eu égard aux canons de « l'obstinée rigueur » [53] intellectuelle. Les développements contemporains des « nouvelles logiques » (dont les traces sont souvent fort anciennes), logiques conjonctives et auto-référentielles, logiques déontiques et logiques modales, etc... s'inscrivent dans cette « ouverture » de la raison à elle-même. Peut-être doit-on souligner surtout la fécondité de l'heuristique méthodologique formulée par A. Newell et H.A. Simon sous le nom du « *Principe d'Action Intelligente* » : une heuristique qui joue dans l'Univers Ψ un rôle comparable à celui du « *Principe de Moindre Action* » dans l'Univers Φ . Un système est capable d'action intelligente lorsqu'il peut identifier un problème d'adaptation téléologique le concernant, et élaborer une stratégie de résolution de ce problème dont il ne disposait pas antérieurement [54]. A. Newell et H.A. Simon [55] ont montré que l'on pouvait toujours représenter un système d'action intelligente par un « système de computation symbolique », donc par un artefact (une machine de Turing) dans le « second univers naturel ».

Qu'un tel artefact soit à la fin fort naturel, que cet objet défini par son projet puisse être aussi décrit par ses nécessités naturelles, il n'y a là nul paradoxe. Mais nous savons bien que sa description par ses seules caractéristiques ontologiques soumises aux lois de la Nature, nous priverait

de l'essentiel : quelle connaissance nous vaudrait un tas de quincaillerie ? Il nous faut voir, conclura H.A. Simon la Nature avec les yeux de l'Art ! Conclusion provocante plus que paradoxale, que l'on peut mettre en forme plus instrumentale, à l'intention des chercheurs plus encore que des ingénieurs qui explorent les phénomènes naturels qui sont avec cela artificiels et « *les phénomènes artificiels qui sont avec cela naturels* » [56].

«... Dans les environs d'Aix-en-Provence, on peut redécouvrir chacun des endroits où s'installait Cézanne pour peindre la montagne Sainte-Victoire. On peut voir la montagne comme il la voyait, de la ferme de Bellevue ou du bois du Château Noir. Ses toiles, alors nous livrent de nouvelles significations, tant leur fidélité au terrain et à la nature nous apparaît évidente. Les paysages de Provence révèlent les termes du problème artistique de Cézanne : Le problème de la création d'un interface entre le monde extérieur et les besoins propres de l'artiste aspirant à une vision créatrice.

Au Mont-Saint-Michel, on peut voir l'Eglise, mêlée encore au rocher qui la porte, faire face à la marée galopante, lui résister, attendre patiemment le reflux. C'est ici l'affrontement du roc et de l'océan qui définit la création de l'architecte : sur ce drame des forces naturelles, bâtir une œuvre édifiante. A Chartres, le rôle de la loi naturelle est plus subtil : il s'exprime par la résistance que les voûtes et les arcs-boutants opposent aux forces de la gravité, comme par leur insistance à monter encore pour s'ouvrir à la lumière.

L'œuvre de l'écrivain créateur nous livre la même leçon : l'artefact n'existe pas hors du naturel ; il prend corps à la rencontre, à l'interaction, d'une intention avec la nature. A Cabourg (Le Balbec de Proust), on peut descendre au Grand Hôtel – celui précisément dont il décrivait l'architecture victorienne – emprunter l'ascenseur en compagnie de son « lift » pour gagner la salle à manger d'où l'on observera, et où vous observeront, les flâneurs sur la promenade du bord de mer – Cabourg est-il Balbec, ou Balbec, Cabourg ? Proust décrivit-il le Pré-Catelan, le jardin d'agrément de son oncle à Illiers-Combray, ou le créa-t-il ? Ces jardins où nous marchons sont-ils ceux qu'il dépeint, ou les a-t-on cultivés pour qu'ils s'ajustent à ses descriptions ? L'art imite-t-il la nature, ou voyons-nous la nature avec les yeux de l'art ?

L'œuvre du peintre, de l'écrivain, de l'architecte, toutes se révèlent identiques à celle de l'ingénieur, du chimiste, de l'organisateur. Non pas une fantaisie arbitraire, ni un acte de pure volonté, mais la découverte des formes qui harmonisent les besoins et les aspirations de l'homme intérieur avec les lois qui régissent l'environnement naturel ; ses artefacts avec le monde dans lequel il vit. C'est à cette œuvre que mon livre s'attache et c'est l'homme même et sa société qui sont ainsi concernés, l'un et l'autre perçus comme les produits d'un processus complexe de conception... »

H.A. Simon (1974)

Extrait de : Préface à la traduction française de « *The Sciences of the Artificial* » (1969). L'EPI S.A., Ed., Paris.

Comprendre plutôt qu'expliquer

Les entreprises de connaissance des systèmes artificiels, que l'on entend par leur capacité adaptative téléologique, nous conduisent à identifier les univers de modélisation dans lesquels nous pouvons les décrire. Les limites de l'univers de modélisation habituel des phénomènes naturels s'avèrent patentes dès que l'on souhaite rendre compte des processus de conception-invention-description des systèmes artificiels. A ces limites méthodologiques se superposent des limites épistémologiques sévères : les épistémologies positivistes, qui s'avèrent parfois moins adéquates qu'on ne l'attendait pour rendre compte des phénomènes naturels, s'avèrent, en pratique, plus inadéquates encore pour la production et la validation des énoncés relatifs aux systèmes artificiels. On montre que l'on sait formaliser un autre univers de modélisation, adéquat à la conception des phénomènes artificiels ; et on souligne la pertinence et la fécondité des épistémologies constructivistes (que le développement des sciences de l'artificiel a contribué à promouvoir), pour argumenter la production et la validation des énoncés relatifs aux systèmes « artificiellement » intelligents (les artefacts, notamment).

Cette réflexion sur la modélisation des systèmes artificiels suggère une reconsidération de la modélisation des phénomènes naturels : en les représentant par des systèmes, on peut les interpréter en terme de systèmes en s'aidant des cadres conceptuels établis par les épistémologies constructivistes. Ne peut-on tenir pour une révolution paradigmatique cette renaissance contemporaine des épistémologies constructivistes qui, assurant les recherches en matière de systèmes artificiels, ouvrent aux sciences de la nature des ressources nouvelles au moins en terme méthodologique. Fut-ce aux dépens de l'impérialisme des épistémologies positivistes, il devient dès lors légitime de parler de systèmes naturels ET de « systèmes naturels qui sont avec cela artificiels ». D'en parler, et d'en tirer parti, ... en voyant la Nature avec les yeux de l'Art, autrement dit en cherchant à la comprendre plutôt qu'à l'expliquer^[57].

Remerciements

Cette étude bénéficie des commentaires proposés lors de la présentation d'une version préliminaire au Colloque «Systèmes naturels, Systèmes artificiels», organisé à Strasbourg en octobre 1987 par le CIRCES (Centre Interdisciplinaire de Recherche sur la Communication entre Science et Société), Université de Strasbourg, à l'initiative du Professeur F. TINLAND. Que les participants à ce Colloque et son animateur trouvent ici mes sincères remerciements.

Notes et Références

- [1] R. DAMIEN a fort judicieusement mis en évidence les conditions épistémologiques de l'émergence de la notion de Système au XVIII^e Siècle : «Système et Novation au XVIII^e S. : Montesquieu, Condillac, Diderot», dans *Revue Internationale de Systémique*, Vol. 1, n° 3, pp. 331-352.
- [2] Claude BERNARD : «*Introduction à la médecine expérimentale*» 1865 – page 297 de l'édition scolaire, Librairie Joseph Gibert à Paris. Claude Bernard ajoutait «Le Positivisme, qui au nom de la science, repousse les systèmes philosophiques, a comme eux le tort d'être un système». Lucidité au premier degré qui n'a pas empêché la postérité de lire Claude Bernard au deuxième degré en faisant un pionnier du néo-positivisme, bien à juste titre semble-t-il. On n'échappe sans doute pas à la nécessité d'une référence explicite de sa conception de la science, même en récusant a priori toutes les doctrines en «isme». Il vaut sans doute mieux en convenir... et identifier ses références plutôt que de se laisser «récupérer» par telle ou telle famille en isme !
- [3] L'article «système» de l'encyclopédie de Diderot-d'Alembert, est sans doute un des plus longs : quarante pages ; dont une bonne partie est consacrée au «système général» des notations musicales : c'est-à-dire précisément au processus de modélisation le plus étonnant qu'ait inventé l'esprit humain, puisqu'il permet de représenter intelligiblement, de reproduire et de communiquer le phénomène le plus ineffable (le plus indescriptible) que l'on puisse connaître : l'harmonie musicale. Au XVIII^e Siècle, le mot Système exprime bien souvent ce que nous entendons au XX^e Siècle par un modèle ou par une méthode de modélisation.
- [4] L. VON BERTALANFFY : «*General System Theory*» – G. BRAZILLER Pub. Ct. N.Y., 1968, p. 2.
- [5] «*Systems Everywhere*» – (cf. note 4, p. 3). On a repris la formule proposée par le traducteur de l'ouvrage en français, J.B. CHABROL, Ed. Dunod, Paris, 1973, p. 1.
- [6] On doit à S. BACHELARD une note historique très intéressante : «*Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles*», dans P. DELATTRE et M. THELLIER : «*Elaboration et justification des modèles*», Tome I, Maloine S.A. Editeur, Paris, 1979, pp. 3-19.
- [7] H.A. SIMON et A. NEWELL : «Models : their uses and limitations», dans «*The state of the Social Sciences*», L.D. WHITE (Edr), The University of Chicago Press, 1956, pp. 66-83. H.A. SIMON dira plus tard que cette interprétation de la G.S.T. «était peut-être trop sceptique» (1962, repris dans the «*Sciences of the Artificial*», 1969, 1981, p. 193, The MIT Press).
- [8] La «bande annonce» de «*General System Theory*» précise : «An authoritative introduction to one of the most important theoretical and methodological reorientations in contemporary physical, biological, behavioral and social sciences» : Les sciences de l'artificiel ne semblaient pas concernées.

[9] On a commenté et interprété cette émergence des «nouvelles sciences» à partir de 1948 dans «Les nouvelles sciences sont bien des sciences. Repères historiques et épistémologiques», *Revue Internationale de Systémique*, Vol. 1, n° 3, 1987, pp. 295-318.

[10] «The Sciences of the Artificial» paraît pour la première fois en 1969 (MIT Press). J'en ai établi en 1974 une traduction française que H.A. SIMON voudra bien préfacier : je propose d'insérer en encart dans le présent article le passage central de cette préface originale, qui concerne directement le projet (L'Epi Editeur, SA, Paris, 1974), traduction aujourd'hui épuisée. En 1981, H.A. SIMON publiera une seconde édition complétée de trois importants chapitres. Depuis cette date, je cherche sans succès un éditeur francophone capable d'établir une version française de cette édition de 1981 dont l'intérêt est si manifeste pour le développement des sciences de l'ingénierie.

[11] On verra la contribution décisive d'Archimède ou de Léonard de Vinci à la formation du concept de système artificiel. Le «*Livre des Diverses et Artificieuses Machines*» illustré de planches qui firent sans doute rêver les éditeurs de «l'Encyclopédie des sciences des arts et des métiers» deux siècles plus tard, parut en 1588 (soixante ans après la mort de Léonard de Vinci).

[12] La métaphore de l'Abeille et l'Architecte (ou de l'Araignée et du Tisserand) a été souvent évoquée : peut-être faut-il rappeler qu'elle est due à K. MARX, dans «*L e Capital*» : voir «*Euvres-Economie ; Vol.1*», N.R.F., collection Pléiade, p. 728.

[13] Sur l'origine du terme «mécané», voir M. BODER : «*Machines, Ruses, Passions : Genèse de la société civile chez Hegel*». Dans les *Cahiers STS* (Ed. du CNRS) : «De la Technique à la Technologie», vol. 2, 1984, pp. 70-85.

[14] H.A. SIMON, Préface à l'édition française : «*La Science des Systèmes, Sciences de l'Artificiel*».

[15] Faut-il parler de la – ou de les – science(s) des systèmes ? Peut-être faut-il suggérer une tolérance aux deux versions (qui impliquent, il est vrai, des références épistémologiques différentes) ? Ne supporte-t-on pas sans danger apparent «les» mathématiques (appliquées ou pures) et «la» (Science) Mathématique.

[16] H.A. SIMON, Préface à l'édition française : «*La Science des systèmes, sciences de l'Artificiel*».

[17] On doit à Martin KEMP un renouvellement original de nos lectures de L. de Vinci. Voir en particulier «*Leonardo da Vinci, The marvellous works of Nature and Man*», J.M. Dent Sons Ltd, Londres, 1981. Les citations que l'on reprend ici sont extraites d'un article de M. Kemp traduit en français dans le remarquable catalogue de l'exposition de Montréal 1987 («*Léonard de Vinci, Ingénieur et Architecte*» – Musée des Beaux Arts de Montréal) : «Les Inventions de la Nature et la nature de l'invention», pp. 131-144.

[18] a, b, c. Les citations a et c reprennent des formules de Léonard de Vinci traduites par M. Kemp ; la citation b est un commentaire de M. Kemp.

[19] «L'Introduction à la méthode de Léonard de Vinci» est publiée par P. VALÉRY en 1894. Il avait alors 24 ans.

[20] La combinaison Φ et Ψ , voire $\Phi + \Psi$, apparaîtra souvent dans «les Cahiers» de Paul VALÉRY (Ed. Pléiade, NRF, 1975). L'édition intégrale des cahiers 1894-1914, dont le premier volume vient de paraître chez Gallimard, révèle (note, p. 452) que cette notation Φ et Ψ fut précédée d'une notation I et R (pour Image et Réalité).

[21] Léonard de Vinci, cité par M. KEMP (cf. note 17, p. 131), dans la traduction de E. Mac CURDY – CA. f 502, 1162).

[22] G.B. VICO «*La méthode des études de notre temps*» (1708) traduit et présenté par A. PONS dans «*Vie de G.B. Vico écrite par lui-même*», Ed. Grasset, Paris, 1981. Sur la notion d'Ingénium, voir page 200.

[23] Auguste COMTE : «*Opuscules de philosophie sociale*» (1819-1828) – page 135 de l'édition Leroux, Paris, 1883.

[24] R. THOM, «La Science, malgré tout...», dans le volume 17, «*Organum*» de l'*Encyclopædia Universalis* (1975) – Repris dans le volume «Enjeux» (1984).

[25] Il faut relire «*L'Essai sur l'histoire humaine de la nature*» de S. MOSCOVICI, et notamment les derniers chapitres (coll. Champs – Ed. Flammarion, Paris, 1968, 1977).

[26] C.P. SNOW «*Les deux cultures*», 1959. Traduction française par Cl. NOËL, J.J. Pauvert Editeur, Paris, 1968. H.A. SIMON PRÉCISE que sa réflexion s'est précisément forgée en réaction contre cet insupportable clivage, dans «*The Sciences of the Artificial*» (1969-1981), p. 157. Voir aussi son adresse du bicentenaire à l'Académie des Arts et des Sciences des USA : «*L'Unité des Arts et des Sciences*», traduite dans AFCEP-Interfaces, n° 15, janvier 1984.

[27] G. DUBY rappelle que c'est Hugues de Saint Victor qui proposa, vers 1144, la distinction entre «Arts libéraux» et «Arts mécaniques» sur laquelle se fonda la culture médiévale et que les «Ingénieurs de la Renaissance» tentèrent de remettre en question (y parvenant parfois : que l'on songe à la vive conscience qu'avait Léonard de Vinci de l'Unité de la Connaissance). Voir aussi sur ce thème le chapitre de «*L'Essai sur l'histoire humaine de la nature*» de S. MOSCOVICI, intitulé «La main et le cerveau» ; la référence proposée par G. DUBY est présentée dans : «*Séminaires de l'Ecole du Louvre – Science, Technique et Industrie, un patrimoine, des perspectives*». La Documentation Française, Paris, 1983, page 23.

[28] On retient par commodité la date de 1948 qui vit paraître presque simultanément les textes fondateurs de N. WIENER, de W. WEAVER, de C. SHANNON, établissant la Cybernétique et la Théorie de L'Information, comme ceux de J. Von NEUMAN théorisant les ordinateurs ; la théorie des jeux d'O. MORGENSTERN et J. Von NEUMAN paraît en 1945, la thèse d'H.A. SIMON, «*Administrative Behavior*» paraît en 1947, etc... On montrerait aisément bien sûr que même dans leur acception contemporaine, les sciences de l'artificiel apparaissaient déjà avant 1948 : Jacques GUILLERME a pu faire rééditer en 1972, à la Librairie Vrin, Paris, les «*Réflexions sur la science des*

machines» de J. LAFITTE publiée en 1932 (le manuscrit date de 1911 et 1919), dont G. TH. GUILBAUD avait souligné, dans le trop éphémère «Que sais-je ?» qu'il consacra en 1958 à la Cybernétique, ce caractère original. (Bien que, souligne justement J. GUILLERME, dans cette «mécanologie», il n'y ait pas de place pour les machines symboliques).

[29] A. ROSENBLUETH, N. WIENER, J. BIGELOW : «*Behavior, Purpose and Teleology*», 1943, repris par exemple dans la Revue Internationale de Systémique, Vol. 1, n° 1, pp. 115-122, 1987. On a consacré, avec A. DEMAILLY, une note au contexte historico-épistémologique de cet article fondateur, sous le titre «Actualité de la Téléologie» dans la R.I.S., 1987, Vol. 1, n° 2, pp. 239-245.

[30] Les commentaires de R. TAYLOR furent publiés dans le volume 17, 1950, de «*Philosophy of Science*». Ils sont accessibles grâce au dossier colligé par W. BUCKLEY : «*Modern systems Research for the behavioral Scientist*» – Aldine Pub. Cy, Chicago, 1968, pp. 226-242.

[31] *Les Etudes philosophiques*, 16^e année n° 2, (CNRS, PUF), 1961. Sur cette traduction, voir note citée en [29].

[32] Voir «*The Sciences of the Artificial*», 1969, 1981, page 8.

[33] Voir la note de lecture qu'il publie en juin 1970 dans «*Contemporary Psychology, a Journal of reviews*», Vol. XV, nb 6, sous le titre «The Artificiality of Science». En langue française, le procès d'intention hargneux que le mathématicien M.P. SCHUTZENBERGER fait en 1980 à l'ouvrage d'H.A. SIMON, qu'il tient pour un psychiatre (sic), mérite d'être cité comme un exemple de la médiocrité et de l'inattention épistémologique dont est capable une certaine aristocratie académique : voir M.P. SCHUTZENBERGER «Sur l'Analyse des Systèmes», dans : F. GALLOUEDEC-GENUYS et Ph. LEMOINE (Eds), «*Les enjeux culturels de l'informatisation*», la Documentation Française, Paris, 1980, pp. 203-215.

[34] Voir G. CANGUILHEM : «*Etudes d'Histoire et de Philosophie des Sciences*», Librairie J. Vrin, 1968, 1983. Voir en particulier «Modèles et analogies dans la découverte en biologie» (1961), pp. 305-318.

[35] J. PIAGET (ed.) : «*Logique et Connaissance Scientifique*», Encyclopédie de la Pléiade, NRF 1967. Cf. notamment pp. 1115-1274.

[36] Voir par exemple la contribution de H. Von FOERSTER, traduite sous le titre «Les objets, gages de comportements propres» au Colloque de juillet 1975. «Hommage à J. Piaget», pour son quatre-vingtième anniversaire, sous le titre «*Épistémologie génétique et équilibration*» (B. INHELDER et Al., Edrs), DELACHAUX et NESTLÉ Editeurs, Neuchatel, 1976 : pp. 76-88, et la discussion animée par J. PIAGET, pp. 90-139.

[37] J. PIAGET n'entendit guère sur le champ l'appel que lui adressa H.A. SIMON, lors du Colloque International du CNRS (Paris 1965) sur «*Les modèles et la formalisation du comportement*» (Ed. du CNRS, 1967), par sa célèbre interpellation :

«je suis suisse» (p. 305). Formule qu'H.A. SIMON pourra reprendre lorsqu'il contribuera en 1981 au Séminaire d'épistémologie génétique de Genève où il intervenait peu après la mort de J. PIAGET ; cf. *Les Cahiers de la Fondation Archives Jean Piaget*, Vol. 2-3, (Genève, 1982), pp. 155-182.

[38] G. BATESON : «Forme, substance et différence» (à la 19^{ème} Conférence à la mémoire d'A. KORZYBSKI, janvier 1970), publié, en traduction française dans «*Vers une écologie de l'esprit, tome 2*», Ed. du Seuil, 1980, pp. 205-222.

[39] A. KORZYBSKI : «*Science and Sanity*», The International Non-Aristotelician Library Pub. Cy. 1933, 1980. Cf. notamment, pp. 747-761, un article de 1931 sur «Le Système Non-Aristotélien».

[40] Cf. note [37] : Cahiers de la fondation Archives Jean Piaget, Vol. 2-3, 1982.

[41] P. WATZLAWICK (Ed.) «*L'Invention de la Réalité, Contribution au Constructivisme*» (1981 en allemand). Traduit par A.L. HACKER en français : Ed. du Seuil, Paris, janvier 1988. Voir notamment l'article de E. Von GLASERSFELD : «Introduction à un constructivisme radical».

[42] Voir notamment Paul GERMAIN : «La Signification culturelle du développement des sciences et ses implications dans les sociétés contemporaines», dans *La Vie Académique*, (Académie des Sciences), 14 décembre 1981, tome 293, pp. 129-151, qui évoque la remise en question depuis une cinquantaine d'années, des trois «postulats implicites du scientisme opérationnel... et donc du positivisme».

[43] M. BUNGE : «the G.S.T. Challenge to the classical philosophy of science» dans «*International Journal of General Systems*», Vol. 4, n° 1, 1977, pp. 29-37.

[44] L'actualité de l'épistémologie de K. POPPER mériterait quelque attention : faut-il rappeler que «Logiques de la Découverte Scientifique» fut publié pour la première fois en allemand en 1935 ; mais il semblait ignorer que les scientifiques francophones disposaient, depuis 1934, d'un accès aisé au manifeste épistémologique de G. BACHELARD, «Le Nouvel Esprit Scientifique». Peut-être faut-il rappeler aussi la controverse qu'H.A. SIMON opposa à K. POPPER en 1973, sous l'interrogation : «Does scientific discovery have a logic?» (voir H.A. Simon, «*Models of discovery*», D. Reidel Pub. Cy., 1977, pp. 326-337.

[45] J'emprunte la formule à H. ATLAN dans «*A tort et à raison, Intercritique de la science et du mythe*», Ed. du Seuil, 1986, p. 16.

[46] Discussion développée dans «Les nouvelles sciences sont bien des sciences», 1987, cf. note [9]. Voir aussi : J.L. LE MOIGNE et H. VÉRIN : «Sur le processus d'autonomisation des sciences du génie», dans les *Cahiers STS, CNRS*, n° 2, 1984, pp. 42-55.

[47] Auguste COMTE : «Discours sur l'Esprit Positif» dans «*Traité philosophique d'astronomie populaire*», 1844, page 41 de l'édition de l'Apostolat Positiviste, 1893.

[48] G. BATESON (1970), «*Vers une écologie de l'Esprit, tome II*», Ed. du Seuil, 1980, p. 209.

[49] H.A. SIMON : «*The Sciences of the Artificial*», 1969, 1981, page 8.

[50] E. Von GLASERSFELD écrit dans «*L'Invention de la Réalité*», cf. note [41] : «Le constructivisme radical se trouve en parfait accord avec Piaget quand il dit : «L'intelligence organise le monde en s'organisant elle-même». Pour Piaget, l'organisation est toujours interaction nécessaire entre intelligence consciente et environnement... (Mais) quant à la question (des commentaires)... la position de J. Piaget est un peu ambiguë : malgré les importantes contributions qu'il a apportées au constructivisme, il a toujours eu un penchant pour le réalisme métaphysique (ontologisme)» cf. p. 27.

[51] Remarquons, ajoute H.A. SIMON, que cette façon de définir les artefacts s'applique aussi bien à des choses qui ne sont pas faites par l'homme ; en fait, à toutes celles qui peuvent être considérées comme «adaptées à quelque situation» («*The Sciences of the Artificial*», 1969, 1981, p. 9).

[52] La concomitance de la renaissance des épistémologies constructivistes et de la «nouvelle rhétorique» corrobore notre argument central : il fallait sans doute que s'accumulent les contributions de K. BURKE (remarquablement «relu» pour nous par Ch. ROIG, dans «*Symbole et Société*», Edition Peter Lang, Berne, 1977), d'A. KORSYBSKI («*Les systèmes non Aristotéliens*»), de Ch. PERELMAN («*La nouvelle rhétorique, traité de l'argumentation*», Librairie J. Vrin, 1970, 1977), de J.B. GRIZE («*Essai de logique naturelle*» Ed. Peter Lang, Berne, 1983), pour que le «raisonnement» dans les champs des sciences de l'artificiel assure ses propres normes.

[53] Paul VALÉRY, qu'on peut tenir pour le pionnier de «La Nouvelle Rhétorique», aimait rappeler la magnifique devise que s'était donné Léonard de Vinci : «*Hostinato Rigore*».

[54] Edgar MORIN a formulé ce principe peu différemment sous le nom de l'Autonomie : «Pour qu'il y ait liberté il faut qu'il y ait... un système capable de se représenter une situation, d'élaborer des hypothèses et des stratégies, ... et qu'il y ait possibilité de choix, c'est-à-dire des conditions extérieures qui permettent le choix et des conditions intérieures qui permettent de le concevoir». Dans «*Peut-on concevoir une science de l'Autonomie ?*» (1981) repris dans «*Science avec Conscience*», Ed. Fayard, Paris, 1982, cf. p. 199.

[55] A. NEWELL et H.A. SIMON : «*Human Problem Solving*» Prentice Hall, Englewood, New Jersey, 1972. Voir aussi, sur cet argument, plusieurs textes de «*Sciences de l'Intelligence, Sciences de l'Artificiel*», A. DEMAÏLLY et J.L. LE MOIGNE (Eds) P.U. Lyon, 1986.

[56] Après avoir rappelé cette formule de Descartes «En sorte que toutes les choses qui sont artificielles sont avec cela naturelles», G. CANGUILHEM commente l'exemple de la montre «si cher à Descartes», et conclut : «De notre point de vue nous pouvons et nous devons inverser le rapport et dire que les roues dont une montre est faite... sont produites d'une activité technique : ... ne pas oublier l'antériorité chronologique absolue... de la construction des machines sur la connaissance de la physique». Dans «*La Connaissance de la Vie*», Librairie J. Vrin, 1952-1980, page 121.

[57] René THOM est sans doute convaincant lorsqu'il assure que «toute explication requiert en dernière analyse une ontologie, la présence d'entités... dont les interactions propagent l'influx causal qui détermine l'évolution temporelle des phénomènes» (dans sa préface aux «*Systèmes de la Nature*» de J. LARGEAULT, Librairie Vrin, Paris, 1985, p. V). Mais d'une part nous ne sommes pas tenus à un credo ontologiste (autrement dit : nous ne sommes pas astreints à croire à l'existence de Dieu pour conduire à une recherche scientifique raisonnée) ; et de l'autre, nous ne sommes pas tenus de réduire la Science à un catalogue «d'explications» validées (même si cette hypothèse peut être source d'heuristiques puissantes) : nous pouvons tout aussi légitimement, lui demander de nous permettre cet exercice d'auto-appropriation de l'intervention de l'esprit humain dans l'Univers que l'on appelle l'intelligibilité ou, peut-être «La Compréhension» : laquelle passe par la représentation. Ce qui n'interdit pas de réfléchir sur les vertus de la causalité et donc de l'explication, comme le fait fort brillamment J. Largeault dans les «*Systèmes de la Nature*», mais ne contraint pas non plus de bannir de la science, la quête de la compréhension par la modélisation : «Le Disegno concluait Léonard de Vinci, est d'une excellence telle qu'il ne fait pas que montrer les œuvres de la Nature, mais qu'il en produit un nombre infiniment plus varié» (cité par M. Kemp, p. 131, note [17]).