

**Revue Internationale de**

ISSN 0980-1472

**systemique**

Vol. 7, N° 2, 1993

**afcet**

DUNOD

**AFSCET**

**Revue Internationale de**  
**systemique**

**Revue**  
**Internationale**  
**de Sytémique**

volume 07, numéro 2, pages 183 - 204, 1993

Les sciences de l'ingénierie  
sont des sciences fondamentales.  
Contribution à l'épistémologie de l'ingénierie

Jean-Louis Le Moigne

Numérisation Afcet, août 2017.



Creative Commons

Il ne dispense pas le responsable du devoir d'intelligence mais le provoque, au contraire, à devenir encore plus clairvoyant.

### Références

- J. M. ADAMO, A. CHAMPIGNEUX, M. KARSKY, *Application de la Dynamique des systèmes et de la logique floue à la modélisation d'un problème de postés en raffinerie*. Séminaire de Solaize. AFCET, juin 1977.
- J. M. ADAMO, M. KARSKY, *Application de la Dynamique des Systèmes et de la logique floue à la modélisation d'un problème de postés en raffinerie*. Actes du congrès de l'AFCET, Modélisation et maîtrise des systèmes techniques, économiques et sociaux, Éditions Hommes et Techniques, tome 2, p. 479, Novembre 1977.
- G. DONNADIEU, A. ISNARD, Pour une approche systémique de la motivation, *Revue Internationale de Systémique*, 1990, vol. 4, n° 3.
- R. GIRARD, *Des choses cachées depuis la fondation du monde*, Paris, Grasset.
- F. HERZBERG, *Le travail et la nature de l'homme*, Paris, Entreprise Moderne d'Édition.
- M. KARSKY, A. LORENTER, *Enriching the job content in an oil refinery : Systems Dynamics Approach*, Note numérotée, Elf Aquitaine, IEEE, Conference on Systems and Cybernetics, Boston, 1980.
- H. LABORIT, *La colombe assassinée*, Paris, Grasset.
- C. LEVY-LEBOYER, *La crise des motivations*, Paris, PUF.
- A. LORENTER, *Application de la Dynamique des Systèmes aux problèmes de comportement au travail*, 5<sup>e</sup> journée Dynamique des Systèmes de l'AFCET. Université de l'État de Mons, 1979.
- A. MASLOW, *Motivation and Personality*, Harper.

## LES SCIENCES DE L'INGÉNIERIE SONT DES SCIENCES FONDAMENTALES. CONTRIBUTION A L'ÉPISTÉMOLOGIE DE LA TECHNOLOGIE

J.-L. LE MOIGNE

Professeur à l'Université d'Aix-Marseille III  
Directeur du GRASCE CNRS 935<sup>1</sup>

### Résumé

L'importance du statut socio-culturel de la technologie, unanimement proclamée aujourd'hui, ne doit pas dissimuler la faiblesse de son statut épistémologique au regard des institutions d'enseignement et de recherche. Aux canons de toutes les épistémologies positivistes, la « science des techniques » ne peut guère être tenue pour une science sérieuse, fut-elle « appliquée ». On peut alors la définir comme un art, mais on s'interdit alors de la développer comme l'une des « variables motrices » de la civilisation. La conception de la technologie comme une science humaine propose certes une thèse alternative judicieuse, mais conduit à reconsidérer aussi la scientificité des sciences humaines au regard des positivismes. En revanche, la redéfinition de la technologie comme science de l'ingénierie, explicitement entendue dans le référentiel des épistémologies constructivistes (J. Piaget, H.A. Simon, H. von Foerster, E. Morin), permet de légitimer sa scientificité en tant que discipline enseignable, et de proposer de nouveaux programmes de recherche ouverts, fondés sur l'intelligence des processus cognitifs de conception : science de l'ingénierie, science de l'artificiel, science de la conception, science des systèmes, science de la complexité.

### Abstract

The growing socio-cultural influence of technology today cannot dissimulate the weakness of its epistemological status vis-a-vis the scientific and educational institutions. From any "positivist" point of view, the "science of technics" cannot be considered as a well sounded scientific

1. GRASCE, Faculté d'Économie Appliquée, Centre Forbin, 23, cours Gambetta, 13627 Aix-en-Provence Cedex.

discipline, even applied discipline. If technology is considered as an art and not a science, can we develop it as a "basic cause of our contemporary civilization"? The definition of technology a social and human science suggests some plausible and useful epistemological alternative. But the scientific status of the social and human sciences remains in question from the positivist point of view still officially accepted by the scientific institutions. The change of the epistemological references, from positivism to constructivism (J. Piaget, H.A. Simon, H. von Foerster, E. Morin) leads to another understanding of the scientific status of the technology now seen as the science of engineering, both fundamental and applied : the science of the engineering, science of the artificial, science of (the cognitive process of) design, appears not only as a teachable discipline, but also as a discipline able to develop its own research programs, mainly based on systems sciences and sciences of cognition.

*L'Humanité ne sait pas encore assez que son avenir dépend d'elle.*

H. Bergson (Les deux sources...)

Sur l'insoutenable légèreté, tant épistémologique que lexicologique, de la technologie, science des techniques<sup>1</sup>, tout est dit, sur tous les tons, par toutes les thèses et semble-t-il dans toutes les langues. Si la discipline était encore jeune (comme l'est par exemple la science informatique, passible du même procès en « légèreté », on ne s'étonnerait pas. Le temps fera son œuvre et cette discipline disparaîtra de la mémoire humaine comme disparurent la technonomie de Christian (1820), la science industrielle de A. Lavallée (1830), la *tektologie* de A. Bogdanov (1913) ou la science des machines de Ch. Laffitte (1930). Mais la technologie est aujourd'hui une vieille discipline née, nous rappellent J. Guillaume, puis H. Vérin<sup>2</sup>, pendant la Renaissance, comme « l'art du discours sur l'art du discours », héritière donc de la sophistique; une épistémologie de la rhétorique sans doute? Discipline qui s'enroulant sur son propre projet deviendrait « l'art du discours sur l'art » puis bientôt « la science de l'art », l'art s'entendant comme « l'ensemble des procédés, des pratiques et des connaissances utilisés pour transformer la matière... »<sup>3</sup>. « La question des commencements de la technologie... demeure largement ouverte » reconnaît l'historien; mais on ne peut longtemps séparer l'histoire des sciences de leur épistémologie. Et ici l'épistémologue historien nous propose peut-être une réponse inattendue : s'il s'agit « d'assujettir plus efficacement l'esprit, l'ingéniosité, l'intelligence humaine aux impératifs industriels, alors la prétention à penser aujourd'hui

une science des techniques ne risque-t-elle pas de n'être à nouveau qu'un cas de servitude volontaire à des intérêts qui nous dépassent? Comment éviter ce piège, sinon en reconnaissant qu'une technologie ne peut être qu'une rhétorique? Alors nous donnerions-nous peut-être d'autres armes pour la penser » concluera H. Vérin<sup>4</sup>. Qu'une vieille discipline, riche de plusieurs siècles d'expériences, enracinée dans nos cultures au point de mériter un ministère bien qu'indigne encore d'un fauteuil dans nos académies, puisse être tenue à la fois pour une science de l'argumentation (la rhétorique) et pour une science des procédés manufacturiers, disciplines qui n'ont aucune place dans les institutions scientifiques européennes, n'est-ce pas là la manifestation la plus convaincante de sa légèreté épistémologique? Légèreté d'autant plus insupportable aujourd'hui que rien n'annonce la fin prochaine de la technologie. Quel que soit son statut, le néologisme nous est devenu indispensable ; le concept est devenu « *variable motrice* » de la civilisation. Ne tenons-nous pas la maîtrise de cette discipline pour « la condition de la gestion collective de notre écosphère, du dépassement de la crise économique des pays industrialisés et de la mise en œuvre de stratégies du développement dans les autres »<sup>6</sup>.

## I. LA TECHNOLOGIE PEUT-ELLE ÊTRE UNE DISCIPLINE POSITIVE?

Comment les institutions scientifiques (Académies, Universités, Écoles) ont-elles pu laisser se développer depuis un demi-siècle une situation aussi dégradante pour « la dignité de l'esprit humain » qu'elles voudraient tant affirmer face aux assauts permanents des charlatanismes et des multiples barbaries? Peut-être importe-t-il de comprendre comment « on en est arrivé là »? Si l'on souhaite vraiment contribuer à la maîtrise sociale de la gestion de l'écosphère, des conditions de l'emploi et des stratégies du développement, peut-on se résigner à construire cette maîtrise sur une « variable motrice » purement conceptuelle dont le statut épistémologique et culturel soit aussi évanescant? Il faut au moins tenter un diagnostic ou une évaluation des diagnostics disponibles, et repérer quelques prescriptions que l'on tient pour pertinentes dans l'état de la science contemporaine. L'exercice est certes audacieux mais on s'y livre ici sans inquiétude. D'abord parce que cette réflexion s'inscrit dans un débat conçu précisément pour confronter diverses problématiques, des tenants de la techno-science à ceux de la technologie-sciences-humaines par ceux de la technologie-réduite-à-l'art; mais aussi parce que de riches méditations épistémologiques longtemps

souterraines se sont accumulées depuis l'émergence des « nouvelles Technologies de l'Information » (ou depuis « le Nouvel Esprit Scientifique » de G. Bachelard. Les deux événements sont quasi contemporains : 1934-1936), comme depuis la diffusion des œuvres de J. Piaget, de H.A. Simon, de G. Bateson, d'E. Morin... Méditations qu'il nous faut aujourd'hui « écouter » et « assimiler » dans notre intelligence de la technologie. L'exercice nous conduira à une nouvelle intelligence de l'ingénierie et à une épistémologie bien argumentée des sciences de l'ingénierie, parce que sous la gangue informe de la technologie, nous rencontrerons le noyau bien construit des sciences de la conception.

### I.1. Diagnostic épistémologique de la technologie

Bien que les raisons de mettre en doute l'évidence du (ou le caractère « positif ») du dualisme cartésien et de l'idéologie « objectiviste » qui fonde aujourd'hui encore les épistémologies cartésiano-positivistes<sup>7</sup> soient au moins aussi nombreuses que celles qui suggèrent de n'en pas douter, il faut convenir que les appels désespérés de E. Husserl (1936) à « l'héroïsme de la raison »<sup>8</sup> ou de G. Bachelard (1934) à un « nouvel esprit scientifique » n'ont jusqu'ici guère été entendus ni par les institutions scientifiques et éducatives, ni par les cultures politiques au moins au sein de la civilisation occidentale à laquelle ces appels (et tant d'autres) s'adressaient. Il fallait sans doute que « la crise des sciences » atteigne une intensité paroxystique pour que « l'influence considérable du positivisme (qui) s'impose encore paradoxalement à beaucoup d'esprits malgré les démentis cinglants que les développements ultérieurs des sciences ont infligés à la doctrine » (J. Piaget, 1967)<sup>9</sup>, commence peut-être à se résorber à la veille de l'an 2000. Il reste qu'aujourd'hui encore la scientificité institutionnelle de la technologie-science des techniques et donc de son enseignabilité doivent être évaluées comme celles de toutes les autres disciplines scientifiques, à l'aune de l'une des variantes au moins des positivismes culturellement acceptés (du post-néo-positivisme à l'empirisme réaliste ou logique). Sur ce socle, Auguste Comte a établi en 1828 un tableau synoptique (et hiérarchique) des disciplines scientifiques<sup>10</sup> qui ne prévoit aucune place, fut-elle modeste, pour la science des techniques, discipline incapable, semble-t-il, d'identifier l'objet naturel qu'elle se propose de connaître, et bien sûr, plus incapable encore de définir ses méthodes logiques d'investigation et ses critères a-temporel de validation. Si bien que par un paradoxe quelque peu humiliant pour les institutions scientifiques, la technologie qui, saint-simonisme aidant, avait suscité le développement

des positivismes au début du XIX<sup>e</sup> siècle, ne peut être raisonnablement tenue en retour pour une discipline scientifique par ces positivismes, sous peine de « contradiction épistémologique profonde ». On montrerait sans peine qu'il en va de même pour la plupart des « nouvelles sciences » nées dans la mouvance des sciences de la communication et de la commande (la cybernétique) à partir de 1945<sup>10</sup>. Mais la technologie ne peut comme ces dernières justifier la légèreté de son statut épistémologique en arguant de sa jeunesse. Sans être la doyenne, n'est-elle pas parmi les plus anciennes des disciplines encore vivaces après deux siècles au moins d'existence socialement reconnue ?

### I.2. La technologie, science « appliquée », science au rabais ?

Sans reconnaissance épistémologique, comment la technologie a-t-elle pu non seulement survivre, mais apparemment se développer sous l'aile protectrice des positivismes, alors que tant d'autres disciplines ont disparu dans la trappe des *pseudo* ou des fausses sciences (de l'astrologie à la phrénologie)? C'est probablement une ruse des « chercheurs en technologie » (on les appelait « ingénieurs »)<sup>11</sup> du siècle dernier qui permit la constitution d'une niche institutionnelle et épistémologique adéquate. Ces chercheurs, qu'on appelait alors des ingénieurs et qui se définissaient volontiers comme des « polytechniciens » ou des « ingénieurs civils », souhaitaient beaucoup bénéficier de la considération des « savants » (on ne disait pas encore des « scientifiques »). Pour la légitimer ils leur suggéraient de distinguer dans chaque discipline une sous-discipline noble, dite « fondamentale » ou « pure », et une sous-discipline roturière, dite « appliquée » ou « finalisée », étant entendu que les chercheurs en sciences appliquées (les ingénieurs spécialisés... bien que polytechniciens) veilleraient à présenter systématiquement leurs travaux en les rapportant aux théories élaborées par les savants en charge des sciences fondamentales, positives elles par hypothèse. Dans cette vaste niche des sciences appliquées, positives par dérivation, la science des techniques allait pouvoir s'épanouir sans s'interroger sans cesse sur sa légitimité épistémologique et en oubliant vite de distinguer ce qui dans ses résultats comme dans ses méthodes relevait du fondamental et de l'appliqué. L'exercice était d'autant plus facile que le XVIII<sup>e</sup> siècle avait connu un superbe épanouissement de la science pure par excellence, la mathématique, grâce aux efforts considérables de formalisation des sciences des techniques (des « arts mécaniques » à la « science des fortifications »). La circulation entre le « fondamental » et « l'appliqué » se faisant ainsi fort naturellement, en pratique. (L'exercice fut peut-être plus difficile aux USA : H.A. Simon rappelle l'importance du

« coup de barre vers le fondamental » que K.T. Compton, nouveau président du MIT, crut devoir donner en 1931<sup>12</sup>.) A l'abri de « l'idéologie triomphante de la science appliquée »<sup>13</sup>, la technologie va ainsi se satisfaire d'un statut social modeste, qualitativement stagnant mais suffisant pour lui permettre une massive diffusion quantitative, massive au point de la faire tenir pour une des « variables motrices » de la civilisation à la fin du xx<sup>e</sup> siècle.

### I.3. Quand la science positiviste devient la Techno-science

Cette distinction symbolique va en même temps rendre possible une curieuse mystification épistémologique et culturelle. Rien en effet dans le contrat moral implicite passé entre les communautés des savants et des ingénieurs du siècle dernier ne précisait les caractéristiques différenciant *a priori* une recherche scientifique « pure » d'une recherche « appliquée », hormis le statut social du chercheur. Est-il savant? Est-il ingénieur? Lorsque, dans la deuxième moitié du xx<sup>e</sup> siècle, le savant devint un scientifique et s'associa quotidiennement à l'ingénieur (association que symbolise parfaitement le changement de nom de la « Société des ingénieurs civils de France », ICF, devenant en 1978 la « Société des ingénieurs et scientifiques de France », ISF)<sup>14</sup>, la démarcation *a priori* entre les deux sous-disciplines devint impraticable! Dans le même temps l'institutionnalisation de la recherche scientifique, en permettant son financement, révéla l'impossibilité d'une recherche « pure » de toute contingence. Devenant fonction publique, la recherche doit publiquement justifier ses objectifs. Elle ne peut se développer qu'en s'affirmant finalisée. La caution de la recherche appliquée (ou finalisée) devient alors essentielle. Et comme cette dernière, modestement, assure n'être que l'humble et inséparable suivante de la première, la distinction entre la « pure » et « l'appliquée » va rapidement s'effacer en pratique : impossible *a priori*, elle va devenir impraticable *a posteriori*. Comment qualifier le résultat d'une recherche qui se veut « utile »? La science devient la *techno-science*, néologisme qui rend compte de l'inséparabilité de la science pure et de la science appliquée, ou de la science de la nature et de la science des techniques. Les appels mélodramatiques à un retour à une pureté perdue lors du mariage de la nature et de la technique seront stériles aussi longtemps qu'ils ne s'accompagneront pas d'une procédure pour financer et évaluer publiquement les résultats d'une recherche scientifique non finalisée. L'exemple de l'événement connu sous le titre de « la mémoire de l'eau » illustre *a contrario* l'argument : le thème de la mémoire de l'eau constituait *a priori* un thème fort légitime de recherche fondamentale, un

exercice de connaissance pure. Mais nulle institution publique ne semblait disposée à financer une recherche sur cette hypothèse. Lorsqu'un laboratoire de pharmacie homéopathique accepta de prendre ce risque, cette même thèse de fondamentale devint soudain mercantile et la communauté scientifique, fondamentalistes en tête, n'eut de cesse de la faire bannir des programmes de recherche!

Le glissement de la science positiviste vers la techno-science – présumée non moins positive – n'eut pourtant pas de conséquences épistémologiques bénéfiques pour la technologie : socialement anoblie par incorporation dans le corps des techno-sciences, elle semble y perdre son autonomie et sa spécificité; elle semble même mourir de sa victoire, les rédacteurs des programmes d'enseignement de la technologie en témoignent. Existe-t-il une science des techniques fondamentales qui soit dissociable de la technologie appliquée? (Cette expression n'est-elle pas un pléonasme?)

La légitimation épistémologique d'une technologie positive au sein du tableau synoptique des sciences par le jeu de la séparation des disciplines en « fondamentales » et « appliquées » semble ainsi condamnée à l'échec. Féconde peut-être pour les autres disciplines qui trouvent quelques ressources par leur transformation symbolique de science en techno-science, cette distinction va avoir beaucoup d'effets pervers pour la technologie. Faute d'avoir assumé (à l'instar de la plupart des « nouvelles sciences ») sa « propre réflexion épistémologique »<sup>15</sup>, la science des techniques va-t-elle implorer en se dispersant dans les multiples techno-sciences?

### I.3. Et si la technologie n'était qu'un art ?

Les contradictions dans lesquelles les épistémologies positivistes de toutes obédiences enferment la technologie dès lors qu'elle se veut discipline scientifique sont perçues depuis longtemps par nombre de bons esprits. Mieux vaut assumer le clivage entre « les deux cultures » (C.P. Snow, 1958), celle des arts libéraux et des arts mécaniques (introduit au xi<sup>e</sup> siècle par les clercs de l'abbaye de Saint-Victor : distinction non innocente, commente G. Duby<sup>16</sup>), celui de la culture artistique ou humaniste et celui de la culture scientifique. A. Koyré sera de ceux-là quand il affirmera : « La technologie est un système de pensée *indépendant de la science* (je souligne) et basé sur le sens commun »<sup>17</sup>. Mais cette position très confortable pour le technicien (technologue?) qui échappe ainsi à la surveillance sourcilieuse des scientifiques, comme pour l'épistémologue, qui n'a plus à s'interroger sur le statut d'une discipline qui ne se déclare plus « science », va s'avérer

en pratique très embarrassante pour le citoyen et pour l'enseignant. Si la technologie n'est pas une discipline scientifique, et si, nonobstant elle est tenue pour une « variable motrice » de la civilisation, comment va-t-on pouvoir évaluer et transmettre ses « productions » ? Va-t-il falloir, chaque année, ouvrir un « salon des refusés » où seront exposés les produits de la technologie que les pouvoirs politiques du moment n'auront pas voulu considérer, financer et enseigner ? Si la technologie est un art et pas une science, on ne peut plus la définir comme la « science des techniques » ; ni s'intéresser à « sa maîtrise sociale ». Qui oserait parler de maîtrise sociale d'un art ? La thèse de la technologie, violon d'ingres de la science mérite certes qu'on l'explore, qu'on la discute et souvent qu'on lui demande quelque rafraîchissante inspiration, d'autant plus que son histoire imprègne souvent nos cultures contemporaines. (Combien de techniciens et technologues furent formés dans des « écoles centrales d'art » ?) Mais elle est d'un faible secours pour la réflexion qu'il faut conduire ici. Pour être maîtrisable, la technologie doit être disciplinable, et donc discipline scientifique enseignable. Si les deux voies les plus tentantes, celle de la réduction de la science à l'art et celle des positivismes technoscientistes, ne nous proposent aucune issue raisonnable, ne pouvons-nous reprendre nos interrogations à leurs commencements : ne peut-on concevoir une épistémologie sur laquelle se fonde en raison, l'activité de la science des techniques, et donc notre intelligence sociale de la technologie ?

## II. L'INTELLIGENCE DE LA TECHNOLOGIE, DISCIPLINE CONSTRUCTIVE

### II.1. Forces et faiblesses épistémologiques de la « technologie science humaine »

Une première et remarquable réponse nous est proposée par H. Haudricourt et les autres pionniers de sa génération<sup>18</sup> introduisant et développant avec une exceptionnelle fécondité le concept encore original de « la technologie humaine ». La longue préface que F. Sigaut a rédigée en novembre 1986 au recueil d'articles d'A. Haudricourt publié sous ce titre, constitue sans doute le manifeste le plus convaincant et le mieux argumenté dont nous disposions pour fonder une épistémologie de la technologie entendue comme une science de l'homme et de la société<sup>19</sup>. Proposition qui prend sans doute à contre-pied celle d'une épistémologie positiviste des techno-sciences contemporaines, ce qui explique sans doute « l'indifférence d'un milieu de techniciens pour les uns, de philosophes pour les autres ». Il faut ici adjurer le lecteur, surtout

s'il se veut citoyen ET scientifique : la discussion de ces vingt pages est aujourd'hui essentielle pour l'urgente entreprise collective d'intelligence de la technologie. On doit se borner à deux brèves citations qui introduiront l'autre réponse que l'on peut proposer aux questionnements épistémologiques de la technologie<sup>20</sup>. « ... C'est précisément parce que l'effort de description et celui de théorisation (proposés par Leibniz) ne réussirent pas à s'associer assez étroitement que la technologie ne parvint pas à se constituer définitivement comme science. Mais on ne fut pas loin d'y parvenir. Le xviii<sup>e</sup> et les deux premiers tiers du xix<sup>e</sup> siècles s'engagèrent fort avant dans la réalisation du programme de Leibniz. »<sup>21</sup>

« ... La science, dans l'acception actuelle du terme, suppose une certaine idée de la nature, obéissant à ses lois propres, étrangères aux volontés et aux désirs humains, mais que les hommes peuvent peut-être arriver à connaître par l'exercice de leur raison. C'est semble-t-il dans la Grèce des vi<sup>e</sup> et v<sup>e</sup> siècles avant J.-C. que cette idée de la nature fait son apparition (A. Espinas, R. Lenoble), comme l'image inverse de la société, si l'on peut dire. La Cité a ses lois, qui sont des conventions humaines : la Nature a les siennes qui sont au contraire totalement étrangères aux hommes et il est significatif sans doute que la pensée chinoise, n'ayant jamais admis le principe juridique de loi, n'ait pas davantage accepté l'idée de lois de la nature. » (C.A. Ronan)<sup>22</sup>

Ce clivage entre une science de la nature et une science de l'homme constitue encore aujourd'hui un des défis épistémologiques les plus insupportables de notre temps. F. Sigaut nous rappelle le « changement de position » assumé délibérément par A.G. Haudricourt : plutôt que de persister à « définir une science par son objet », il va proposer de « la caractériser par le point de vue et non par l'objet »... « Si l'on peut étudier le même objet de différents points de vue, il est par contre sûr qu'il y a un point de vue plus essentiel que les autres, celui qui peut donner les lois d'apparition et de transformation de l'objet. Il est clair que pour un objet fabriqué, c'est le point de vue humain de sa fabrication et de son utilisation par les hommes qui est essentiel et que si la technologie doit être une science, c'est en tant que science des activités humaines... » (A. Haudricourt, *La technologie science humaine*, 1964, repris dans le livre de 1987, p. 31 et p. 37).

### II.2. La technologie : d'un objet à un projet de connaissance

Le franchissement de « l'obstacle épistémologique » d'une « épistémologie positiviste » à une « épistémologie non-cartésienne » que préconisait déjà G. Bachelard en 1934, proposé explicitement ici par A. Haudricourt, conduit à proposer une transformation du statut épistémologique des disci-

plines scientifiques : chaque science ne se définit plus par son « objet de connaissance » (comme l'implique « l'objectivisme » postulé par le dualisme cartésien de l'objet et du sujet) mais pas son « projet de connaissance » (impliqué par le « positivisme » du modélisateur-scientifique). Sur cette transformation, les épistémologies constructivistes vont se reformuler depuis une trentaine d'années, avec une vitalité qui trouve sans doute sa source dans la vaste entreprise épistémologique de J. Piaget publiée en 1967<sup>23</sup>. Peut-être faut-il regretter qu'A. Haudricourt soit resté à la marge de cette vaste remise en question des fondements épistémologiques des sciences contemporaines alors qu'il est manifestement un de ses initiateurs. En tenant pour « évident » (« sûr et clair ») qu'il existe *a priori* « un point de vue plus essentiel que les autres », il tombait en effet dans le piège du positivisme dont il voulait sortir : si « l'objet » de la science des techniques est « l'activité humaine », cet objet n'est-il pas présumé identifiable indépendamment des sujets qui l'observent et de leurs projets? La technologie ainsi définie ne devient-elle pas un substitut (ou un synonyme) de la praxéologie? Praxéologie qui, malgré l'enthousiasme moralisateur de ses promoteurs, d'A. Espinas (qui publie *Les origines de la technologie* en 1890) à T. Kotarbinski (qui publie *Praxéologie, une introduction à la science de l'action efficace* en 1965), se veut délibérément construite sur une épistémologie positiviste et objectiviste<sup>24</sup>.

En proposant de tenir la technologie pour une science de l'homme, A. Haudricourt et F. Sigaud transforment certes profondément le problème de la définition et du statut épistémologique de la technologie, science des techniques. Mais le problème du statut épistémologique des sciences de l'homme et de la société reste dramatiquement ouvert. Si ce statut reste celui du positivisme objectiviste, fondé sur « l'exclusion du sujet » (E. Morin, 1977), les sciences humaines ne pourront assumer la complexité de leur objet et devront se résigner à sélectionner « un point de vue plus essentiel », que ce soit celui de la biologie, ou de la thermodynamique, ou de la cristallographie ou de « la fabrication de l'objet par l'homme ». Mutilations insupportables auxquelles les scientifiques ne sont pas tenus de se résigner, que leur projet de connaissance concerne l'objet naturel, vivant ou inanimé, ou l'objet artificiel, technique ou symbolique.

### II.3. La science des techniques est science de l'ingénierie

C'est précisément à cette intelligence de l'action humaine entendue d'abord dans la complexité perçue que va s'attacher l'entreprise contemporaine de reconstruction des sciences de l'ingénierie (ou du génie) : dès lors que nous voulons bien prêter attention au fait que les caractéristiques des « objets

techniques » les plus certainement appréhendables par l'esprit humain sont précisément celles qui tiennent au fait qu'ils sont conçus et éventuellement construits par des esprits humains. (...« Le travail manuel n'étant en définitive chargé que de reproduire les images conçues par l'imagination » rappelait déjà Léonard de Vinci<sup>25</sup>). On doit à H.A. Simon la tenace réflexion qui va nous permettre de renouveler, à partir de ce constat (qui vaut définition, généralement acceptée, de la technique), notre intelligence de la technologie acceptée, de la technique), notre intelligence de la technologie entendue comme la science de la conception-construction des artefacts, qu'ils soient tangibles (les objets techniques) ou images (les représentations symboliques). Artefacts que l'on entendra dans et par les substrats naturels par lesquels l'esprit humain, *l'ingenium*<sup>26</sup> y accède. Le plus symbolique des symboles est aussi un symbole physique (peinture, papier, énergie sonore, etc.) rappelleront volontiers A. Newell et H.A. Simon<sup>27</sup>.

Constat apparemment trivial qui va pourtant donner au projet de connaissance de cet artefact une caractéristique décisive : il est conçu par un esprit humain capable de connaître, fut-ce par la médiation d'un système cognitif artificiel et donc lui-même conçu par un esprit humain capable de comprendre et de concevoir. La connaissance de l'artefact pourra donc être normative : le récit d'un des processus possibles de sa conception (et donc la programmation de ce processus) conduira à une connaissance intelligible et opérationnelle de cet artefact. Au lieu de le décrire analytiquement, nous pourrions exposer comment il pourrait être conçu dès lors que l'on peut le caractériser « en termes de fonctions, de buts et d'adaptation », en termes « d'impératifs » donc<sup>28</sup>. L'artefact conclura H.A. Simon peut être compris comme une « interface » entre un projet et un contexte. La connaissance de la conception finalisée de cette interface nous donne une connaissance de cette interface; comme la connaissance de la règle de la construction des nombres entiers nous donne une connaissance de tous les nombres entiers.

« La science de l'artificiel » (retenons ce vocable un peu plus général que celui de « science des techniques », mais qui prétend assumer tout ce que l'on peut entendre par la technologie-discipline scientifique), la science de l'artificiel va dès lors pouvoir se concentrer sur la science des processus cognitifs de conception des artefacts : autrement dit sur la science de l'ingénierie, dès lors que l'on reconnaît l'ingénierie comme l'activité intégratrice et téléologique de conception anticipatrice de réalisation et d'animation d'un projet dans un « environnement changeant »; la conception (« même si ce n'est pas toujours avec une claire vision anticipatrice » précise H.A. Simon) d'un « système complexe ».

#### II.4. Les fondements constructivistes des sciences de l'ingénierie

Une discipline scientifique peut-elle se construire sur le projet de la connaissance des processus cognitifs de conception? A cette question, H.A. Simon va proposer une réponse fort pragmatique, que non sans humour, je crois, il qualifie de « positiviste » : on montrera que cette discipline peut se construire... en construisant effectivement certains au moins de ses pans les plus manifestement enseignables, et en proposant dès 1969 un programme de recherche, dont il montrera, douze ans après, que quelques étapes ont déjà été franchies (susitant ainsi, selon l'usage une reformulation de ce programme). Ce sera le chapitre central du manifeste épistémologique des sciences de l'ingénierie (et plus généralement des « nouvelles sciences ») qu'il lancera en 1969 et développera en 1981 sous le titre (en français) : *Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel*<sup>29</sup>. Il n'est pas indifférent pour notre propos de noter que ce texte paraît presque en même temps que le manifeste des épistémologies constructivistes contemporaines que publie Jean Piaget avec sa célèbre encyclopédie *Logique et Connaissance Scientifique*. Sans doute faudra-t-il attendre que s'annonce *La Méthode* d'Edgar Morin pour que l'on dispose du « chaînon manquant » permettant de relier l'épistémologie empirique selon H.A. Simon<sup>30</sup> à l'épistémologie génétique de J. Piaget, chaînon qu'il appellera « l'épistémologie de la complexité »<sup>31</sup>. Epistémologies constructivistes en ceci qu'elles se fondent explicitement sur la connaissance construite (J. Piaget dit « générée », et parle plus volontiers d'« épistémologie génétique ») par l'interaction du sujet et de l'objet, ou par le « projet » interactif du « système observant »<sup>32</sup>. En ceci aussi que cette connaissance se construit par l'exercice de la raison humaine non bridé par la seule logique disjonctive; connaissance qui se construit en particulier par la capacité de cette raison à former des représentations (système d'artefacts symboliques); en ceci enfin qu'elle se construit récursivement et irréversiblement dans le temps, autrement dit qu'elle s'entend d'une connaissance processus produisant des connaissances.

Sur ce socle désormais bien construit des épistémologies constructivistes, on montre aisément que l'on peut édifier, argumenter et légitimer des disciplines scientifiques enseignables, que les positivismes récusent ou devraient récuser. Parmi elles bien sûr, les sciences des systèmes, sciences de l'artificiel. Que cette conception de la connaissance scientifique légitime les sciences des techniques va dès lors de soi, si ces dernières ne se définissent plus comme sciences des « objets » techniques, mais comme sciences des « projets » ingénieraux. Autrement dit, ce sera notre conclusion, si l'on souhaite disposer d'une épistémologie bien constituée pour fonder la recherche et l'enseignement en technologie, il faut en appeler à une épistémologie des sciences de

l'ingénierie. Ou pour reprendre la synonymie proposée par H.A. Simon, des sciences de la conception.

Si on accepte cette proposition, au moins comme une hypothèse de réflexion, on va devoir reconsidérer de façon peut-être dramatique notre intelligence contemporaine de la technologie considérée comme une discipline enseignable. L'enseignement actuel de la technologie (à quoi se réduisent aujourd'hui en France les programmes de nombre des enseignements techniques et des écoles d'ingénieurs, en particulier les plus grandes) est un enseignement portant sur la description d'objets déjà conçus (comment? Nul ne le sait) et sur l'application de connaissances établies antérieurement sur des objets naturels. Le passage à un enseignement des sciences de l'ingénierie (tant fondamentales qu'appliquées, si cette distinction garde un sens autre que rituel dès lors que les disciplines sont définies sur une épistémologie constructiviste) constitue certainement un exercice difficile. Exercice d'ingénierie de système complexe au demeurant, que la discipline doit pouvoir assumer quasi spontanément dès lors que la société lui en propose le projet<sup>33</sup>. Ce qu'elle fera lorsqu'elle ambitionnera la maîtrise sociale de la technologie... et donc de la science de l'ingénierie.

#### II.5. La technologie, du « système technique » au « système des sciences »

Cette ré-invention de la technologie entendue comme la science de l'ingénierie des systèmes complexes suscite deux familles de conséquences : – d'une part elle implique un développement socio-culturel de plus en plus intensif du paradigme épistémologique constructiviste. Certes, on l'a vu, la technologie ne peut pas s'épanouir dans une épistémologie positiviste, et, à ce jour, la seule alternative suffisamment formulée est la famille des épistémologies constructivistes (et non-cartésiennes). Mais cette « demande épistémologique n'est pas spécifique de la technologie. Elle concerne aujourd'hui toutes les « nouvelles sciences » (qu'elles soient sciences des systèmes, de l'information, de la cognition, de l'organisation ou de la décision) et plus profondément le renouvellement de toutes les disciplines traditionnelles. La formidable pression que les sociétés contemporaines exercent sur les académies pour qu'enfin elles rendent possibles les développements effectifs de l'inter et de la transdisciplinarité, va dans ce sens. Les tenants des vieilles disciplines l'ont bien compris, qui s'efforcent de réduire cette pression à une demande de pluridisciplinarité, strictement additive. Les positivismes ne permettent pas de légitimer des énoncés scientifiques enseignables produits par ces disciplines sans objet



et irréductibles à quelques objets que sont ou que devraient être les interdisciplines<sup>34</sup>. C'est dans le *maelström* (?) épistémologique que suscite la crise de la science contemporaine qu'il faut entendre les transformations des sciences des techniques (tenues pour exclusivement « appliquées ») en sciences de l'ingénierie (inséparablement « fondamentales » – et – appliquées »)<sup>35</sup>. La technologie n'est pas l'héroïne principale de cette odyssée éthico-épistémologique, elle en est un des acteurs parmi les plus actifs. Elle doit se savoir inséparable du « système des sciences » dans lequel elle se développe. Peut-on concevoir une épistémologie propre à la technologie qui se développerait durablement en isolat, ignorante des transformations épistémologiques des autres sciences ?

## II.6. La réinvention de la technologie, science de la conception

D'autre part elle privilégie un programme de recherche original visant à développer nos connaissances enseignables dans l'ordre de la conception : une science de la conception dira H.A. Simon (« The science of design »). Si, comme le rappelait E.T. Clayton il y a une dizaine d'années<sup>36</sup>, « au regard de la science moderne, la conception (adaptation intentionnelle de moyens en vue d'une fin préconçue) n'est rien... (sinon) l'essence même de l'art de l'ingénieur », au regard de la science-en-train-de-se-faire, elle ne peut plus être ignorée. Pour développer et enseigner une science de l'ingénierie et donc une science de la technique, on ne peut pas méconnaître la conception, l'exercice cognitif de « recherche de ce qui n'existe pas et que pourtant on trouve »<sup>37</sup>, le *disegno* selon Léonard de Vinci<sup>38</sup>, l'*ingenium* (que seule la langue française ne sait pas nommer, disait G.B. Vico). « Je pense, concluera H.A. Simon en 1977, que la clef du développement de l'ingénierie dans l'avenir prévisible est le développement d'une théorie de la conception qui commence à émerger »<sup>39</sup>. Une théorie qu'il nous faut à la fois développer et enseigner. De H.A. Simon à F. Mitterrand<sup>40</sup>, on s'étonne chaque jour de l'incapacité des écoles d'ingénierie (et *a fortiori* de technologie) à « apprendre à concevoir ». Je ne vois guère en France à ce jour que quelques écoles d'architecture qui, au prix d'une intense réflexion épistémologique<sup>41</sup>, aient développé un enseignement des sciences de la conception. Il faudrait sans doute ici, pour convaincre le lecteur encore dubitatif, exposer quelques pièces au moins de cette théorie de la conception, en les éclairant de leur riche histoire, celle des « sciences de l'*ingenium* » du xv<sup>e</sup> au xviii<sup>e</sup> siècle que H. Vérin évoquait il y a peu<sup>42</sup>. On ne peut pourtant que mentionner en passant quelques références à des recherches qui se déploient dans divers champs,

ceux des sciences de la cognition et des sciences de l'ingénierie (incluant donc l'architecturologie), bien sûr, mais aussi ceux des sciences de la décision organisationnelle et de l'herméneutique<sup>43</sup>. Et peut-être aussi évoquer une des contributions d'H.A. Simon à cette théorie de la conception, qui a le mérite de rendre compte de l'intelligibilité de la conception en situation complexe (et donc dans ses contextes socio-économiques, politiques et culturels) et pas seulement en situation « classique », celle que connaissent habituellement les bureaux des méthodes et des études techniques que l'on rencontre sur les sites industriels.

## II.7. Complexité de la conception, conception de la complexité

H.A. Simon propose d'introduire une distinction entre deux familles de processus de conception, qu'il appelle : les problèmes de décision bien structurés et... les autres (« *ill-structured* »). Les premiers peuvent être assez aisément caractérisés de façon générale :

1. Le but de la conception est explicité et se décrit par un ensemble de critères permettant de tester si une solution satisfait à ce but.
2. Toutes les informations susceptibles d'être considérées lors de l'exercice de conception sont effectivement disponibles : on dispose à la fois d'une description de la situation de départ et des « matières premières » à traiter, pour progresser vers le but.
3. On dispose enfin de l'ensemble des opérateurs permettant de modifier et combiner ces informations, qu'ils soient sous la forme d'algorithmes ou d'heuristiques. On vérifie sans peine que ce type de problème de conception « bien structurée » est très familier aux praticiens des études techniques de tous types, de l'agro-alimentaire à l'aérospatiale par le TP, et l'enseignement de la technologie se définit par l'apprentissage des procédures normalisées de résolution des problèmes, de conception « bien structurée ». Mais il est loyal de convenir que les problèmes de conception se présentent rarement aux concepteurs-ingénieurs sous cette forme claire, nette et précise » observera H.A. Simon : en général les objectifs ne sont pas tous précisés, la description de la situation de départ et du contexte est incomplète et les opérateurs de raisonnement sont souvent implicites voire encore inconnus du concepteur. Et pourtant, en s'aidant des ressources de son système de mémorisation, en s'autorisant d'innombrables tâtonnements, en tentant quelques simulations « pour voir », en un mot, en se fabriquant de nombreux problèmes intermédiaires relativement bien structurés et en tirant parti de ses capacités d'association plus encore que de ses capacités de déduction, en acquérant

des heuristiques abductives et réductives<sup>44</sup>, en s'entraînant à produire d'autres représentations symboliques de situations qu'il perçoit complexes (irréductibles à un modèle stable, aussi complexe soit-il), le concepteur-ingénieur parviendra souvent à « résoudre » les problèmes de conception complexe qu'il aborde. C'est à l'étude empirique autant que normative, des processus cognitifs de conception susceptibles d'être mis en œuvre par les ingénieurs que s'attache aujourd'hui le développement d'une théorie de la conception. Depuis qu'H.A. Simon introduisait en 1977 cette réflexion (qu'il présentait alors comme prospective<sup>45</sup>), les développements des programmes de CAO (et plus généralement de XAO), des systèmes experts et des systèmes à base de connaissances, des systèmes interactifs d'aide à la décision et des méthodes de modélisation multicritères, des programmes heuristiques de « construction de théories » (*scientific discovery*)<sup>46</sup>, se sont développés, enrichissant les développements parallèles d'une ingénierie de la symbolisation (complexité informationnelle) et de la mémorisation (complexité computationnelle)<sup>47</sup>. Une théorie de la conception qui ne s'enferme plus dans la théorie de l'illusoire séparation du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre (au sein de laquelle s'était développée « la méthode de résolution des problèmes de conception bien structurés » : on disait aussi, depuis Descartes, « La méthode pour bien conduire sa raison »!), une théorie générale de la conception est aujourd'hui suffisamment construite pour être enseignable et surtout praticable. L'ingénierie artificielle est une discipline qui peut légitimement prétendre à la succession de la technologie, si cette dernière persiste à s'enfermer dans le champ clos des « problèmes de conception bien structurés ». « Dire qu'une science de la conception est possible, concluait H.A. Simon en 1977, c'est dire en effet que le concepteur peut comprendre et gérer ses propres processus de pensée. Autrement dit qu'il peut les décrire sous la forme de programmes comptables. Aussi longtemps que le concepteur aura le sentiment que cette représentation de son action dégrade sa dignité de professionnel et d'être humain, il résistera à cette redéfinition de la conception entendue comme une science et non comme un art... »<sup>48</sup>

## II.8. « L'ingéniosité a été donnée à l'homme pour savoir c'est-à-dire pour faire »

« Car la méthode fait obstacle à l'ingéniosité quand elle se mêle du faisable » rappelait déjà G.B. Vico<sup>49</sup> à l'heure où *Le Discours de la Méthode* commençait à envahir la réflexion épistémologique en Occident (1710). Ne pouvons-nous convenir pourtant, ajoutait-il, « que l'ingéniosité a été donnée

à l'homme pour savoir c'est-à-dire pour faire... La science humaine ne sera rien d'autre en elle-même qu'un faire... La science en effet ne se divise pas » concluait-il. De Léonard de Vinci à G.B. Vico et de J. Beckman II à P. Valéry<sup>50</sup> puis à H.A. Simon, nous reconnaissons désormais une puissante tradition épistémologique au sein de laquelle notre intelligence contemporaine de la Technologie, science du savoir-et-donc-du-faire peut enfin s'épanouir. L'édit cartésien puis positiviste qui séparait la connaissance en fondamentale et en appliquée peut enfin être abrogé : la technologie n'est plus nécessairement un discours sur les applications d'une science construite ailleurs, d'un savoir qui ne serait pas aussi un faire. Le discours de et sur la technique nous introduit à une épistémologie des sciences de l'ingénierie, que nous incite aujourd'hui à renouveler dans leur intelligible complexité les épistémologies constructivistes : des épistémologies qui légitiment enfin l'acte de concevoir et de conjindre : les sciences de l'ingénierie sont sciences de la conception; concevoir, c'est chercher ce qui n'existe pas et pourtant le trouver; c'est réfléchir sur nos pratiques; c'est transformer *praxis* en *poïese*.

## Remerciements

L'essentiel de cette étude a été présenté au Colloque International du CNRS, MASTECH (« Maîtrise Sociale de la Technologie »), Lyon en septembre 1991. Je remercie les organisateurs et les participants de ce Colloque pour leurs commentaires et discussions qui ont suscités l'approfondissement de cette recherche et qui m'ont encouragé à lui proposer une plus large diffusion.

## Notes

1. On s'efforce au long de cette étude de respecter les définitions des termes « technique » et « technologie » proposées par les organisateurs du Colloque International sur « la maîtrise sociale de la technologie » (Lyon, sept. 1991) : « Reprenant sa signification épistémologique, on privilégiera l'utilisation du concept de technologie pour désigner la science des techniques ». On retiendra pourtant parfois une définition plus extensive de cette « science des techniques » que celle qu'ils privilégient dans le document de préparation : « La science des techniques c'est-à-dire la science qui a en charge d'explicitier les lois de développement des techniques ». Qui en effet peut être certain que de telles lois existent et existent durablement? La définition de la technologie doit pouvoir assumer aussi d'autres conceptions du domaine passible de « construction de connaissances enseignables » par lequel on caractérise très généralement une discipline scientifique. On souhaite en particulier pouvoir tenir pour au moins aussi plausible la conception proposée par H.A. Simon : « Ici encore nous devons reconnaître que la technologie n'est pas une sorte de variable exogène qui nous est imposée; elle n'est pas une « donnée » de notre situation. La technologie est ce que nous collectivement, en tant que société et en tant qu'individu devons concevoir (*to design*). Que la technologie ait pour nous des conséquences bonnes ou mauvaises dépend de l'habileté avec laquelle nous la concevons », H. A. Simon (1981 b), p. 73.

2. Sous le titre « Technique, Technologie, Application », Mme Hélène Vérin a proposé une discussion des « commencements » (et peut-être des « limites ») de la technologie très richement argumentée et à laquelle on a beaucoup emprunté. (Communication présentée aux « Journées interdisciplinaires sur la technologie » organisées par l'URA CNRS 945 « Économie des changements technologiques » ; à paraître.)
3. On reprend ici la définition du concept de technique proposée par le document préparatoire du colloque.
4. Hélène Vérin, 1990 (cf. note 2), p. 23.
5. La formule « la technologie, variable motrice des problèmes contemporains de civilisation » est proposée en introduction du document préparatoire du colloque.
6. Extrait de la présentation du programme du colloque.
7. Sur la définition en extension du positivisme (du cartésianisme au post-néo-positivisme), on se propose, fort pragmatiquement, de se référer à la position de I. Hacking (1983) : « Il est certain que chaque génération de philosophes proche de la famille positiviste donne une nouvelle forme au courant souterrain des idées qui l'animent et choisit souvent une nouvelle appellation. Il me faut un label pratique pour faire référence à ces idées, aucun ne me convient mieux que celui de « positivisme » (p. 81-82). Concevons d'ailleurs que l'on ira parfois plus loin dans l'amalgame que I. Hacking, en incluant les épistémologies qui se disent « réalistes » sous le parapluie du positivisme : Auguste Comte aimait souligner qu'il avait forgé le positivisme à partir du mot « positif », lequel, « dans son acception la plus ancienne et la plus commune désigne le réel » (*Discours sur l'Esprit Positif*, 1844, p. 41).
8. E. Husserl, *La crise des sciences européennes*, p. 382 de la traduction française.
9. J. Piaget, article « L'épistémologie et ses variétés », p. 51 de l'*Encyclopédie Pléiade*, J. Piaget (ed.), 1967.
10. On a reproduit ce tableau dans J. L. Le Moigne, *La modélisation des systèmes complexes*, 1990, p. 154-155.
11. Voir J. L. Le Moigne, 1987 b, « Les nouvelles sciences sont bien des sciences », dans *La Revue Internationale de Systémique*. Sur cette ruse, voir en particulier la riche étude de E. T. Clayton, « Technologie et Connaissance », publiée dans la revue *Culture Technique*, n° 10, mai 1983, p. 125-127.
12. Voir H. A. Simon, 1969/1981, page 115, note 1 de la traduction française 1991.
13. La formule est de F. Sigaud dans sa préface à A. G. Haudricourt, 1987, p. 24.
14. Voir par exemple l'article de B. Jacomy, « A la recherche de sa mission, la société des ingénieurs civils », dans *Culture Technique*, n° 12, mars 1984, p. 209-220.
15. Cf. J. Piaget (1967, p. 51) : « Le fait nouveau, et de conséquences incalculables pour l'avenir, est que la réflexion épistémologique surgit de plus en plus à l'intérieur même des sciences... ».
16. G. Duby, « Séminaire de l'École du Louvre ; Science, Technique, Société », *La Documentation Française*, 1982, p. 27.
17. Cité par E. T. Layton dans son article de *Culture Technique*, n° 10, mars 1982, p. 189.
18. F. Sigaud dans sa préface à A. G. Haudricourt, *La Technologie, science humaine*, 1987, p. 31.
19. Sans doute faudrait-il rendre justice ici à la réflexion prémonitoire de G. Canguilhem. Dans une étude intitulée « Machine et organisme » présentée en 1947, publiée en 1952 et rééditée en 1980 (dans *La connaissance de la vie*, Vrin, 1980, p. 122), il écrit, peu avant de se référer (p. 125) à une étude de A. G. Haudricourt de 1940 : « C'est la raison pour laquelle nous trouvons plus de lumière, quoiqu'encore faible, sur la construction des machines, dans les travaux des ethnographes que dans ceux des ingénieurs ».
20. F. Sigaud dans sa préface à A. G. Haudricourt, 1987, p. 31.
21. *Ibid.*, p. 21.

22. *Ibid.*, p. 13.
23. J. Piaget (ed.), « Logique et connaissance scientifique », *Encyclopédie Pléiade*, NRF, 1967.
24. On a discuté la légèreté des fondements épistémologiques de la praxéologie dans une étude intitulée : « Les sciences de la décision : sciences d'analyse ou sciences du génie? Interprétation épistémologique » présentée en 1982 et publiée dans R. Nadeau et M. Landry (ed.), *L'aide à la décision, nature, instruments et perspectives d'avenir*, Presses de l'Université Laval à Québec, 1986. On empruntait l'essentiel de la présentation de la praxéologie à la « somme » de J. J. Ostrowski, A. Espinasse *précurseur de la praxéologie*, LGDJ, Paris, 1973.
25. Extrait de la lettre de Léonard de Vinci à L. Sforza et cité par G. Vasari dans sa *Vie des peintres illustres*.
26. Il vaut mieux ne pas traduire en français le concept d'*ingenium* que magnifiera G. B. Vico dans son étonnante *Méthode des études de notre temps* (1708), conclura son traducteur A. Pons, en 1983 (voir G.B. Vico, *Vie de G. B. Vico par lui-même*). H. Vérin dans une étude présentée au colloque G. Canguilhem et intitulée : *G. Canguilhem et le génie* (décembre 1990), va présenter « l'essentiel des thèmes qui circulaient en Europe et ne cessaient de se répandre depuis le milieu du XVI<sup>e</sup> siècle » dans les théories (et la science) de l'*ingenium*. Pour l'épistémologie de la technologie contemporaine, un passionnant retour aux sources. (Étude publiée dans : Collège International de Philosophie, « George Canguilhem, philosophe, historien des sciences », Albin Michel, 1993, p. 77-89).
27. Dans leur « Conférence Turing », 1976 : *Computers as empirical inquiry : symbol and search*.
28. H. A. Simon, 1969/1981. Page 6 de la traduction française 1989.
29. L'édition complétée de 1981 (augmentée de trois chapitres qui concernent surtout les sciences de l'ingénierie sociale) sera traduite en français par J. L. Le Moigne (Dunod, 1991), qui propose dans une postface une discussion de la traduction de *science of design* par « science de la conception », « science de l'ingénierie », voire « science des systèmes ».
30. H. A. Simon a proposé une interprétation originale du concept d'« épistémologie empirique » dans une contribution à un recueil intitulé *Acting and reflecting, the interdisciplinarity turn in philosophy* (W. Sieg, ed., 1990), contribution intitulée : Epistemology : formal and empirical, p. 127-128.
31. E. Morin introduit pour la première fois je crois le concept « d'épistémologie de la complexité » dans C. Atias et J. L. Le Moigne (ed.), 1984, *Science et conscience de la complexité*, p. 47-80. Il le reprendra et le complètera peu après (conférence à Lisbonne en 1983), dans un texte publié dans : E. Morin, *Introduction à la pensée complexe*, 1990.
32. Le concept de « système observant » essentiel pour la compréhension des épistémologies constructivistes a été forgé par H. von Foerster, qui a publié (avec le concours de F. Varela) l'essentiel de son œuvre épistémologique sous ce titre (*Observing Systems*, 1986).
33. H. A. Simon (1969-1981) s'y est essayé le premier (cf. p. 138 et 169 de la traduction française 1991). J'ai proposé il y a peu (Congrès du Génie Industriel de Tours, mars 1991) le curriculum détaillé d'un tronc commun pour les enseignements des sciences de l'ingénierie (texte disponible en note de recherche du GRASCE, CNRS 935, Aix-en-Provence, n° 91-07, mars 1991).
34. Lors du colloque courageux consacré par le CNRS à l'Interdisciplinarité (1990), le biologiste J. P. Changeux insiste (p. 39) sur « les dangers de l'interdisciplinarité » et sur le fait que la recherche devra être « multi- et non pas interdisciplinaire » (CNRS, Carrefour des Sciences, 1990, p. 39). Les appels à l'interdisciplinarité ont-ils quelque chance d'être pris au sérieux alors que, dès leur introduction, les porte-parole des institutions scientifiques proclament les « dangers » de l'entreprise!
35. Jean Piaget insistera sur cet argument jusque dans ses derniers textes : « En un mot, le possible cognitif est essentiellement création et invention, d'où l'importance pour son étude d'une épistémologie constructiviste » (*Le possible et le nécessaire*, PUF, 1981, p. 6).

36. E.T. Clayton, dans *Culture Technique*, mars 1991, n° 10, p. 127. Sa position sur le statut scientifique des sciences de la conception est souvent embarrassée, du fait de son enfermement au sein d'une épistémologie positiviste : il suggère à la fois « un élargissement de nos conceptions de la science » et une hiérarchisation des disciplines : « La conception, la science de l'ingénieur et la science fondamentale constituent une hiérarchie d'abstraction progressive » (p. 129). L'opposition entre les deux interprétations de la science de la conception deviendrait aussi radicale, puisque, dans un référentiel constructiviste, la science des processus cognitifs de conception... est par construction la plus abstraite des disciplines concevables : une « abstraction réfléchissante » (J. Piaget).
37. Cette définition de la conception est empruntée à Quatremère de Quincy (*De l'imitation*, 1823, p. 178). On a développé à plusieurs reprises cet argument notamment dans une étude intitulée « On n'invente que ce qui n'existe pas » publiée dans : E. Morin (colloque de Cerisy), *Arguments pour une méthode*, Seuil, 1990.
38. « *Le disegno* » (la représentation), écrivait L. de Vinci, 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... » (C.A. f 502, 1162). On a développé cet argument dans une étude intitulée : « Quelle épistémologie pour une science des systèmes naturels » qui sont avec cela artificiels ? », *Rev. Intern. Systémique*, vol. 3, n° 3, 1989, p. 252-272).
39. H. A. Simon : « The next hundred years in engineering design », dans L. E. Jones (ed.), *The next hundred years*, University of Toronto Press, 1977, p. 90-104. La phrase citée : p. 95.
40. Ne faut-il pas souligner l'importance de l'appel lancé en 1989 aux responsables des écoles d'ingénieurs : « Mesdames et Messieurs les ingénieurs, inventez ! Mesdames et Messieurs les professeurs, apprenez-leur à inventer ! » (*Revue Arts et manufactures*, Année Eiffel, janvier 1988, p. 10). Qu'après deux siècles de développement des grandes écoles d'ingénieurs françaises, il faille leur rappeler que leur mission est d'apprendre à inventer, le fait n'est-il pas révélateur d'une dégradation profonde de l'enseignement des sciences de l'ingénierie ?
41. Réflexion qu'animent depuis vingt ans quelques enseignants d'écoles d'architecture à l'initiative en particulier de Ph. Boudon. Voir par exemple : Ph. Boudon (ed.), *De l'architecture à l'épistémologie*, PUF, 1991 ; et divers travaux (1986-1990) de l'ex commission 49 du CNRS, dont on peut craindre qu'ils ne disparaissent avec la suppression de cette section « architecture, urbanisme et société » ; comme vient de disparaître la revue britannique *Design Studies* qui avait joué longtemps en Europe un rôle de défricheur dans les domaines des sciences de la conception.
42. Voir H. Vérin, *Canguilhem et le génie*, décembre 1990. Cf. note 26.
43. Voir par exemple : J.-L. Le Moigne et H. Vérin : « Sur le processus d'automatisation des sciences du génie » (*Cahiers STS-CNRS*, n° 2, « De la technique à la technologie », 1984, p. 42-55. J.-L. Le Moigne, *Intelligence des mécanismes et mécanismes de l'intelligence*, Ed. Fayard, Diderot, 1986, p. 229-248. J.-L. Le Moigne, « On n'invente que ce qui n'existe pas » : comprendre la conception par une théorie de la computation symbolique » (E. Morin, *Arguments pour une méthode*, Ed. du Seuil, 1990, p. 214-228). J.-L. Le Moigne, *Conception de la complexité et complexité de la conception*, (*Rev. Intern. Systémique*, vol. 4, n° 2, 1990, p. 295-318).
44. Une théorie de la conception aurait-elle été possible sans la redécouverte de l'œuvre de C.S. Pierce et en particulier des concepts de raisonnements par réduction et par abduction qu'il introduisit à la fin du siècle dernier ? Voir par exemple H. A. Simon, *Models of Discovery*, 1977, p. 29, 42, 151, 267 et P. Bourguine (1991, à paraître) : *Heuristique et abduction*.
45. H. A. Simon, 1977, « The next hundred years in engineering design ». Cf. note (39).
46. P. Langley, H. A. Simon et al., « Scientific discovery, computational explorations of the creative processes ». The MIT Press, 1987.
47. La distinction entre les complexités et les représentations informationnelles et computationnelles est introduite par H.A. Simon dans « On the forms of mental representations », in C. Wade (ed.)

- Perception and cognition*, U. of Minnesota Press, 1978, p. 3-18 ; elle est mise en œuvre dans une étude particulièrement pertinente pour la science de la conception : J. Larkin et H. A. Simon : « Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words » in *Cognitive Science*, vol. 11, 1987, p. 65-99.
48. H. A. Simon, 1977, « The next hundred years... » Cf. note (39).
49. G. B. Vico, *De la très ancienne philosophie des peuples italiens* (1710, traduction ed. TER, 1987), p. 55.
50. Peut-on évoquer au moins une réflexion de P. Valéry sur la conception et l'ingénierie (le génie) : « ... Il conçoit, pressent ces actes possibles (praticables ou non) et en tire le sentiment de relations constantes, de variations indépendantes, de liaisons, de systèmes formés. Le génie est dans la perception de ce possible. Il est possible de l'acquérir » (*Cahiers*, ed. Pléiade, t. II, p. 1000). S'il est possible de l'acquérir, n'est-il pas possible aussi de l'enseigner ?

### Références

- C. ATIAS et J.-L. LE MOIGNE (ed.), 1984, *Science et Conscience de la Complexité ; avec Edgar Morin*. Ed. de la Librairie de l'Université, Aix-en-Provence.
- G. BACHELARD, *Le nouvel esprit scientifique*, Ed. PUF, Paris, 1934-1980.
- COLLÈGE INTERNATIONAL DE PHILOSOPHIE, *George Canguilhem, philosophe, historien des sciences*, Ed. Albin Michel, Paris, 1993.
- COLLOQUE DE CERISY (ed.), *Arguments pour une méthode, autour d'E. Morin*, Ed. du Seuil, Paris, 1990.
- J. GUILLERME, Les liens du sens dans l'histoire de la technologie, *Cahiers STS n° 2 : De la technique à la technologie*, Ed. du CNRS, 1984.
- I. HACKING, *Concevoir et expérimenter. Thèmes introductifs à la philosophie des sciences expérimentales* (traduit de l'américain par B. Sucrest, titre original *Representing and Intervening*, 1983). Ed. Christian Bourgeois, Paris, 1989.
- E. HUSSERL, *La crise des sciences européennes et la phénoménologie transcendantale* (traduction française). Ed. Gallimard, NRF, Paris, 1976.
- A. G. HAUDRICOURT, *La technologie, science humaine. Recherche d'histoire et d'ethnologie des techniques*. Edition de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 1987.
- J.-L. LE MOIGNE, Les paradoxes de l'ingénieur, *Culture Technique*, n° 12, mars 1984, p. 327-335.
- J.-L. LE MOIGNE, *Les sciences de la décision, sciences d'analyse ou sciences du génie ? Interprétation épistémologique*. In R. Nadeau et M. Landry (ed.), 1986, p. 3-52.
- J.-L. LE MOIGNE (ed.), *Intelligence des mécanismes et mécanismes de l'intelligence*. Ed. Fayard, Fondation Diderot, Paris, 1986.
- J.-L. LE MOIGNE, Les nouvelles sciences sont bien des sciences : repères historiques et épistémologiques, *Revue Internationale de Systémique*, vol. 1, n° 3, 1987, p. 295-318.
- J.-L. LE MOIGNE, Quelle épistémologie pour une science des systèmes naturels « qui sont avec cela artificiels », *Revue Internationale de Systémique*, vol. 3, n° 3, 1989, p. 251-272.
- J.-L. LE MOIGNE, La science informatique va-t-elle construire sa propre épistémologie ? *Culture Technique*, n° 21, juillet 1990.
- J.-L. LE MOIGNE, *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod (Collection AFCET-SYSTEME), Paris, 1990.

- J.-L. LE MOIGNE et H. VERIN, Sur le processus d'autonomisation des sciences du génie, *Cahiers STS n° 2 : De la technique à la technologie*, Éditions du CNRS, Paris, 1984.
- J.-L. LE MOIGNE et M. ORILLARD (ed.), *Systémique et Complexité*, Numéro Spécial, *Revue Internationale de Systémique*, vol. 4, n° 2, 1990.
- E. MORIN, *La Méthode*. Tome I : *La Nature de la Nature*, 1977; Tome II : *La Vie de la Vie*, 1980; Tome III : *La Connaissance de la Connaissance*, 1986, Ed. du Seuil, (C. Point), Paris.
- E. MORIN, *Introduction à la pensée complexe*, ESF Editeur. Coll. Communication et Complexité, Paris, 1990.
- S. MOSCOVOCI, *Essai sur l'histoire humaine de la nature*, Ed. Flammarion, Paris, 1968, 1977.
- J. J. OSTROWOSKI, *Alfred Espinasse, précurseur de la praxéologie, ses antécédents et ses successeurs*, Ed. LGDJ, Paris, 1973.
- J. PIAGET (ed.), *Logique et connaissance scientifique*, Ed. Gallimard. Encyclopédie de la Pléiade, Paris, 1967.
- J. PIAGET (ed.), *Le possible et le nécessaire* (deux volumes). PUF, Paris, vol. 1, 1981; vol. 2, 1983.
- Q. DE QUINCY, *De l'imitation*, 1823. Editions AAM, Bruxelles, 1980.
- W. SIEG (ed.), *Acting and Reflecting. The interdisciplinarity turn in philosophy*, Kluwer Academic Press, Pub., Dordrecht, 1990.
- H. A. SIMON, The structure of ill structures problems, *Artificial Intelligence*, n° 4, 1973, p. 181-201.
- H. A. SIMON, The next hundred in engineering design, in L. E. Jones (ed.), *The nexts hundred years*, University of Toronto Press, 1977, p. 90-100.
- H. A. SIMON, *Models of Discovery*, D. Reidel Pub., Dordrecht, Holland, 1977.
- H. A. SIMON, Cognitive Science : The newest science of the artificial, *Cognitive Science*, 4, 1980, p. 33-46.
- H. A. SIMON, Prometheus or Pandora : the influence of automation on society, In *Computer (IEEE)*, novembre 1981, p. 69-74.
- H. A. SIMON, *Science des systèmes, sciences de l'artificiel*, nouvelle édition (traduction et postface de J.-L. Le Moigne de la deuxième édition, 1981). Ed. Dunod, Paris, 1991.
- P. VALERY, *Cahiers 1894-1945* (2 volumes), Collection Pléiade, Ed. Gallimard, NRF, Paris, 1979.
- G. B. VICO, *De la très ancienne philosophie des peuples italiennes*, 1710. Traduit du latin par G. Mailhos et E. Granel. Editions Trans-Europ-Express, 1987.
- G. B. VICO, *Vie de G.B. Vico écrite par lui-même* (suivi de : *La méthode des études de notre temps*, 1708), traduit de l'italien par A. Pons, Ed. Grasset, Paris, 1981.
- H. VON FOERSTER, *Observing Systems*, Intersystems Publications, Seaside Cal., 1981, 1984.

## CONSTRUCTIVISME ET ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

Christophe EVERAERE<sup>1</sup>

### Résumé

Une recherche collective sur les enjeux et les contraintes de la réactivité, et sur une proposition de modélisation d'entreprise horizontale, modulaire et combinatoire intégrée par les données<sup>1</sup>, nous a amenés à nous interroger sur les outils théoriques disponibles pour rendre compte de la dynamique de fonctionnement et d'évolution des systèmes de production affectés par une recherche de réactivité.

Nous verrons que si la théorie systémique constitue un cadre de réflexion stimulant pour envisager la nature et le fonctionnement des systèmes de production, une dimension essentielle des systèmes sociaux leur fait défaut. En soulignant la nécessité d'intégrer l'acteur en tant que vecteur fondamental de changement et d'évolution, l'approche constructiviste nous permet d'envisager l'entreprise comme un système construit, ouvert à toutes les contingences.

### Abstract

Following a research on the stakes and restraints of reactivity and a proposal of a horizontal, modular and flexible firm model, we examine the theoretical backgrounds that could be used to analyze the dynamics of production systems confronted with the search for reactivity.

We will figure out that although the dynamics of production systems can be studied within the *systemic* theory, the social dimension of these systems is missing. Since it underlines the *actor* as a main element of dynamics and evolution, the *constructivist* theory enables us to see the firm as a constructed and contingent system.

1. Boursier Docteur Ingénieur (Région Nord-Pas de Calais, CNRS-PIRTTEM, ADEPA), Sciences de Gestion, IFRESI-CNRS, 2, rue des Canoniers, 59800 Lille.  
Chercheur invité au SCOR (Stanford Center for Organizations Research) à l'Université de Stanford (USA) pour l'année universitaire 1992-1993.