

SUR LES FONDEMENTS EPISTEMOLOGIQUES

DES SCIENCES DE LA CONCEPTION*

Par Jean Louis Le Moigne

“... Le poète a donc raison de dire que ce qu’il cherchait n’existait nulle part. C’est ce qu’on peut dire de toute invention ; et voilà peut-être la meilleure distinction à faire entre les mots à inventer et trouver. Ce qui existe peut se trouver. On n’invente que ce qui n’existe pas...”

“... Non, ce qu’on cherche... n’est nulle part. En veut-on la preuve dans un fait qu’on ne saurait contester ? Posez dans l’imitation du corps humain, le modèle qu’il vous plaira de choisir. Soumettez-le à la copie la plus exacte de tous les dessinateurs du monde. Eh bien ! vous aurez autant de différences dans les copies qu’il y aura de copistes... Qu’est-ce donc enfin qu’on cherche et qu’on trouve quoiqu’il n’existe nulle part ? ” (Quatremère de Quincy, 1823-1980, p. 178 et 182).

Est-il plus chaleureuse définition de la conception, entendue comme l’acte cognitif de concevoir ? La méditation de Quatremère de Quincy, pièce importante dans l’histoire de la pensée architecturale, mais aussi dans la construction de la théorie contemporaine de la modélisation se différenciant de la théorie de l’imitation qu’il avait portée à une perfection classique, introduit fort à propos notre interrogation : si par hypothèse la méthode scientifique classique était analytique, tout entière fondée sur le primat de l’analyse, disjonction de l’objet et du sujet, ne pouvons-nous augurer que *la méthode de la complexité*¹ par laquelle Edgar Morin nous propose d’ouvrir notre intelligence devra se fonder sur la *conception* du projet, conjonction de l’acteur et de l’action, invention d’un rôle, connaissance active. Comprendre la conception, concevoir la compréhension ? La boucle n’est pas fermée, le cercle n’est pas vicieux, dès lors que nous l’entendons non plus comme la mise à plat d’une connaissance-résultat, mais comme un processus cognitif exprimant une connaissance-processus : l’acte de concevoir, l’acte de comprendre peuvent peut-être s’entendre dans cette spirale ouverte : *l’action intelligente*, que nous savons maintenant représenter par quelque système de computation symbolique.

Concevoir la compréhension

« Mais il nous faut tenter de comprendre la compréhension... »
(E. Morin².)

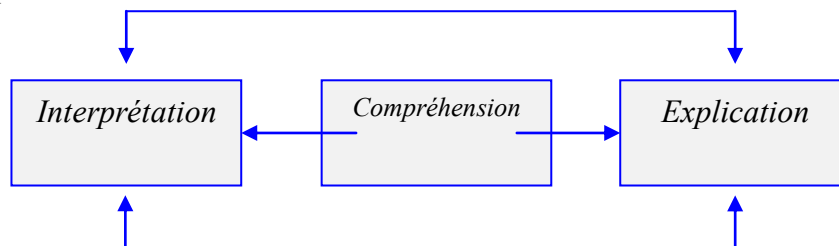
Qu’est-ce que comprendre ? Comprendre l’énoncé du problème, comprendre les raisons du conflit, comprendre la douleur d’un ami, comprendre la démonstration du théorème... Peut-on comprendre la compréhension ? Si on ne le peut, que veut-on dire alors lorsqu’on assure : “ je comprends ” ? Le fait que l’on sache concevoir et construire un système informatique qui se comporte exactement comme s’il avait “ compris ” l’énoncé du problème que vous lui avez fait lire, ne peut-il être interprété comme une réponse positive à la question de la compréhension de la compréhension ? Edgar Morin le suggère lorsqu’il assure qu’il “ nous faut aussi expliquer la compréhension par la computation ” (E. Morin, 1986, p. 149), mais il convient que ce déplacement nécessitera la compréhension de l’explication et celle de la computation. Ce qui le conduira à nous proposer une interprétation de la dialogique bouclante compréhension \emptyset explication \emptyset compréhension, qui ne détruit

* Cet article, rédigé en 1985 et partiellement publié dans les Actes du Colloque de Cerisy 1985, ‘*Argument pour une Méthode, avec Edgar Morin*’, Ed Seuil, 2000) a été publié ds sa forme actuelle à partir de 1994 dans les éditions successives de ‘*Le Constructivisme T 1, Les Enracinements*’ (chap. 9).

1. « Le problème est désormais de transformer la découverte de la complexité en méthode de la complexité » (E. Morin, *La méthode*, tome 1, 1977, p. 386).

2. E. Morin, *La méthode*, tome 1, (1977) p. 295 ; appel auquel répond déjà un développement du tome 3 (1986), p. 147.

pas la complexité de nos perceptions communes. Peut-être pourrait-on l'élargir encore un peu en entendant par compréhension le champ dont un des pôles serait l'interprétation et l'autre l'explication, mais cette extension ne modifie pas le cœur de l'argument : *le processus de la compréhension est un processus computationnel.*



C'est cette thèse et sa réciproque que l'on se propose ici d'explorer et d'interpréter en termes technologiques (ou méthodologiques) et en termes épistémologiques : contribution symbolique et locale à *La méthode*, témoignage de gratitude intellectuelle à son auteur.

Comprendre : construire ou sculpter ?

“ Rien ne s'obtient sans computation, même la plus extraordinaire des intuitions³. ”

L'argument central longtemps irritant, de la machine de Turing⁴, symbole fondateur des théories de la computation (comme la pomme de Newton l'est des théories de la gravitation), repose sur la correspondance qu'elle postule entre l'intelligence (ou la capacité de comprendre) et la computation symbolique (le traitement de symboles physiques : écrire, transformer, lire, effacer, déplacer).

Cette correspondance se justifie par une médiation qui ne semble pas inadmissible, mais qui fait craindre (ou espérer !) le syllogisme : l'intelligence évalue la qualité de la compréhension (un système très intelligent est un système qui comprend très vite), et la compréhension est un exercice de computation symbolique. Comme la première des prémisses n'est guère contestable, l'acceptation de la seconde embarrasse ceux qui, ayant axiomatisé par ailleurs que *l'intelligence est le propre de l'homme*, nient qu'une machine puisse être intelligente, fût-ce peu ! Pour échapper à la contradiction formelle, il leur faut récuser la seconde prémisse : la compréhension ne doit pas être une action computationnelle. Elle sera donc un acte physico-chimique que les neurobiologistes finiront bien par identifier, à moins qu'elle ne soit un acte magique dont les astrologues ont découvert le secret, depuis jalousement gardé ? Leur embarras s'accroît lorsqu'ils conviennent que leur axiome de base, l'intelligence de l'homme, doit être nuancé de mille façons dès lors qu'il apparaît que les animaux manifestent quelque intelligence : du dauphin à la fourmi par le chimpanzé, les illustrations sont millions. Si l'axiome doit supporter des exceptions nombreuses, peut-on l'opposer systématiquement à une machine de Turing ? Il faudrait alors proposer un critère explicitement idéologique de bannissement : une loi d'apartheid ou une proclamation du droit exclusif de l'homme à l'intelligence en quelque sorte ! Position difficilement tenable aujourd'hui, et donc incitation à un effort sinon de compréhension, au moins de tolérance !

3. Les deux métaphores de la compréhension : construire et sculpter sont remarquablement interprétées et commentées par E. Andreewsky « Quelques questions inhérentes à la compréhension du langage » dans la *Nouvelle Encyclopédie des sciences et des techniques, Intelligence des mécanismes et mécanismes de l'intelligence*, Paris, Fayard, Fondation Diderot, 1986, p. 222-223.

4. « La machine de Turing », ainsi nommée par le logicien A. Church en 1937, lorsqu'il eut à rapporter l'article par lequel le jeune logicien anglais A. Turing définissait une machine conceptuelle (concevable mais jamais construite) à l'aide de laquelle il allait établir la théorie de la computation sur laquelle, dix ans plus tard, allait se fonder la construction des « machines computantes » (*computing machine* ; l'expression est de A. Turing) que les Anglo-Saxons appellent brièvement des ordinateurs (*computer*) et les francophones appellent improprement, des ordinateurs.

Sur cette histoire, on renvoie à J.-L. Le Moigne, « Genèse de quelques nouvelles sciences, de l'intelligence artificielle aux sciences de la cognition », dans le volume « Intelligence des mécanismes et mécanismes de l'intelligence » de la *Nouvelle Encyclopédie des sciences et des techniques*, op. cit.

Le droit au raisonnement plausible

L'hypothèse d'une correspondance entre le processus de compréhension manifesté par un système naturel ou artificiel et un processus de computation symbolique devient ainsi tolérable ; et avec elle, la théorie de la machine de Turing, laquelle est (et n'est que) une *théorie de la computation symbolique*.

Si l'on accepte ce droit à l'hypothèse " pour voir " ... ou plutôt " pour tenter de comprendre ", et donc ici " pour tenter de rendre intelligible le concept de compréhension " (indépendamment de la nature du système qui comprend), on peut se proposer de raisonner en s'aidant d'une machine de Turing ; ce qui permettra d'explorer non seulement les propositions que l'on sait en déduire par les quelques règles de la déduction que nous livre la " logique formelle " – des algorithmes –, mais aussi les propositions que l'on pourra inférer par l'exercice des *raisonnements plausibles*⁵ que nous suggère la " logique naturelle " (J.-B. Grize, 1983) – des heuristiques.

Cette méta-proposition (une proposition relative aux procédures d'élaboration des propositions) mérite d'être succinctement argumentée, car elle ne semblera triviale qu'aux lecteurs naïfs : les spécialistes des sciences de la computation et de la cognition (qu'ils soient mathématiciens, logiciens, cognitivistes, psychologues ou philosophes) postulent en général une théorie du raisonnement qui, selon le mot d'E. Morin réduit la rationalité au rationalisme⁶ : il n'est pour eux de bon usage de la raison qu'analytique (*la méthode scientifique est la méthode analytique, assurent-ils*) ; autrement dit, seules les propositions produites par déduction mettant en œuvre les règles acquises de la logique formelle⁷ sont scientifiques et donc légitimes. La théorie de la machine de Turing leur convient en ceci que Turing, dans son article fondateur (1936), faisait fonctionner sa machine selon ces règles, ladite machine étant capable d'une performance inaccessible au plus prodige de tous les calculateurs humains : reconnaître que le symbole 9999999999999999 est identique au symbole 9999999999999999. M. Minsky, en 1967, achèvera la formalisation de cet édifice de la computation algorithmique en montrant que même avec une machine de capacité infinie, il existait des situations où le raisonnement conforme à une logique formelle pouvait être incapable de décider lui-même du moment où il devait s'arrêter, de s'exercer parce qu'il avait abouti au résultat à déterminer (M. Minsky, 1967). Les ordinateurs contemporains constituent des machines de Turing délibérément limités : la machine de Nolin est un automate fini incapable de déceler (décider) certaines classes de fautes dans un programme enregistré⁸.

Peut-on programmer des heuristiques ?

Mais le même M. Minsky soulignera volontiers que le caractère étonnant du célèbre programme *intelligent* de démonstration de théorème (le " Logic Theorist ") de A. Newell et H. A. Simon, présenté en 1956, tenait au fait qu'il utilisait une Machine de Turing (une *machine computante* disait A. Turing) pour exercer des raisonnements plausibles, et non plus des déductions certaines des algorithmes : on dira aujourd'hui des règles d'inférences, ou des heuristiques : des raisonnements plausibles, qui ne " marchent pas " toujours, mais qui s'avèrent parfaitement descriptibles : on n'a pas encore assez prêté attention, dans les cultures scientifiques francophones, à l'œuvre fondamentale de George Polya montrant la possibilité de l'enseignement des raisonnements plausibles (apprendre à

5. G. Polya, *Mathematics and Plausible Reasoning* (deux volumes : *Induction and Analogy in Mathematics* et *Patterns of plausible inference*), Princeton University Press, 1954. Traduit de l'anglais, en partie, sous le titre : *Les mathématiques et le raisonnement plausible* par R. Vallée, Paris, Gauthier-Villars, 1958.

6. Parmi les commentaires d'E. Morin sur la différenciation de la rationalité et du rationalisme, je suggère en particulier : son article au colloque du Goethe Institut de Paris (*Avons-nous besoin d'une nouvelle mythologie ?*, juin 1983), intitulé : « Douze remarques sur la rationalisation du mythe et de la mythologisation de la raison » ; et sa postface à l'ouvrage collectif : *Sciences de l'intelligence, sciences de l'artificiel*, avec H. A. Simon (A. Demailly et J.-L. Le Moigne, dir.), Lyon, Presses universitaires de Lyon, 1986, (p. 683-4).

7. Certes la logique formelle évolue et se ramifie depuis les *Principia Mathematica* de Russel et de Whitehead, publié dans les années 1910. Mais les axiomes de disjonction qui la fondent ne sont pas encore remis en question. Les quelques logiques non standard, qui se développent depuis une vingtaine d'années en renouvelant les axiomatiques, ne sont pas encore généralement considérées comme des logiques formelles.

8. E. Bianco, *Informatique fondamentale : de la machine de Turing aux ordinateurs modernes*, Basel, Birkäuser Verlag, 1979. Un bon texte en langue française introduisant la théorie de la computation pour établir la théorie de la compilation. Voir aussi L. Nolin, *Formalisation des notions de machine et de programme*, Paris, Gauthier-Villars, 1969

deviner) tout autant que celui des raisonnements déductifs (apprendre à démontrer). Et on n'a pas attaché encore assez d'importance au fait que G. Polya⁹ fut un des maîtres de A. Newell, un des fondateurs incontestés de l'intelligence artificielle : lorsque avec H. A. Simon, il proposa (en 1958) de *programmer les heuristiques* (A. Newell, H. A. Simon, 1958, p. 1-10) (le mot heuristique lui-même fut restauré en 1945 par G. Polya [1957]), rares furent ceux qui perçurent l'importance théorique de l'enjeu : une machine de Turing (et même en pratique une machine *finie*) peut *computer* tout raisonnement et pas seulement des règles de déductions : elle peut donc produire toute forme d'"expérimentation par la pensée" (*Gedanken-experiment*) en simulant un raisonnement par tâtonnement, le raisonnement d'un *inventeur* (un champion d'échecs élaborant une stratégie, un mathématicien élaborant une conjecture, un étudiant tâtonnant dans le calcul d'une intégrale, un ingénieur concevant un pont ou un programme, vous et moi concoctant le programme de nos prochaines vacances !).

G. Polya, M. Minsky et A. Newell notamment ont commencé à collationner non seulement des heuristiques mais aussi des méthodes générales pour élaborer des heuristiques : l'entreprise ne fait sans doute que commencer en même temps que s'accuse son caractère apparemment trivial : car enfin nous raisonnons tous par heuristiques (ou par raisonnement plausible) comme Monsieur Jourdain parlait en prose. Et, la métaphore peut éclairer, nous ne raisonnons pas plus fréquemment par algorithmes (ou par raisonnement déductif) que nous ne nous exprimons en alexandrins... en général ! Ainsi notre argument central a aujourd'hui la force non seulement d'une justification conceptuelle ou théorique (Paul Valéry avait, dans ses *Cahiers*, achevé de convaincre les plus réticents... dès lors qu'ils le lisaient !¹⁰), mais aussi celle d'une justification empirique : on sait, aujourd'hui, construire des machines à traiter des symboles (écrire, transformer, lire, déplacer) qui permettent de reproduire *toute* forme de raisonnement concevable, qu'elle soit de type algorithmique (règles déductives de la logique formelle) ou de type heuristique (inférences plausibles de la logique naturelle).

L'économie du raisonnement

On sait même, en présence d'un problème donné, passible *a priori* d'une résolution algorithmique (il existe au moins un précédent connu), évaluer la pertinence ou l'économie d'une résolution heuristique : A. Newell et H. Simon ont mis ce point essentiel en valeur par un exemple devenu célèbre : celui de la résolution des problèmes de cryptarithmétique.

Soit, par exemple, à résoudre :

SEND
+MORE

MONEY

Quel chiffre (0-9) substituer à chacune des huit lettres (S, E, N, D, M, O, R, E) pour que l'addition arithmétique soit correcte ? L'algorithme de résolution déductive est évident : il suffit de former toutes les combinaisons possibles et de les essayer successivement ; s'il en existe au moins une qui soit solution du problème, on est certain de la trouver ! L'intéressant pour notre propos est que les êtres humains invités à résoudre ce problème, dont ils déclarent "comprendre l'énoncé", ne s'y prennent jamais d'abord de cette façon "logique" – pour déterminer sa solution : ils assurent qu'elle est beaucoup trop longue (il y a 3 628 800 combinaisons possibles à écrire et à essayer) et ils présument qu'ils disposent de quelques heuristiques qui les conduiront beaucoup plus vite à la solution : ce que

9. On doit pourtant à J.-P. Kahane un article nécrologique sur G. Polya dans le volume 1986 de l'*Encyclopaedia Universalis*. Mais rares étaient les références en France à ce chercheur étonnant, malgré la traduction, dans les années cinquante, de deux de ses ouvrages.

10. P. Valéry, « *Fonctions de l'Esprit – 13 savants redécouvrent Paul Valéry* », sous la direction de Judith Robinson-Valéry, Paris, Hermann, 1983. On peut lire par exemple, sous la plume du mathématicien français contemporain le plus éminent, Jean Dieudonné : « Comment se fait-il que des hommes comme I. Prigogine, comme moi-même, nous n'ayons jamais eu connaissance de cette étonnante richesse de la pensée de Valéry et que nous ayons pu pendant des années, jusqu'à un âge très avancé de notre vie, le considérer, en somme, comme un excellent écrivain et rien de plus ? », p. 275). À cette question stupéfaite, J. Dieudonné bien sûr ne répond pas. Et il serait fort peiné si on lui suggérait que cette coupable inattention a vait pour origine la fermeture épistémologique de nos académies, incapable de convenir de la scientificité de la conception.

l'on vérifiera expérimentalement sans difficulté. Mieux, on percevra que de nombreuses heuristiques différentes peuvent être mises en œuvre qui donnent souvent satisfaction, et que la plupart des problèmes de ce type sont susceptibles d'être résolus rapidement par appel à ces heuristiques (le lecteur s'en assurera en résolvant par exemple le problème favori de Newell et Simon : DONALD + GERALD = ROBERT, avec $D = 5$, ou $AA + BB = CBC$, qui admet de nombreuses solutions différentes par exemple).

Les situations où les raisonnements plausibles s'avèrent en pratique beaucoup plus efficaces que les raisonnements déductifs sont manifestement très fréquemment observées. Mais c'est surtout la capacité des raisonnements plausibles à résoudre de façon satisfaisante des problèmes que le raisonnement déductif déclarait insolubles¹¹, qui va s'avérer essentiel pour la théorie de la computation.

Le statut de la théorie de la computation

Nous sommes donc bien fondés à proposer un modèle intelligible de la compréhension en général (concevoir la compréhension), quels que soient les modes de raisonnement par lesquels elle se décrit, fondé sur la théorie de la computation : *comprendre, et comprendre la compréhension, peut être représenté et interprété par une séquence d'opérations de traitement de symboles physiques, séquence susceptible d'être réalisée sur une machine de Turing universelle* (et donc, dans la plupart des cas, par une machine automate computante finie : un ordinateur !).

Cette hypothèse ne prétend pas constituer la théorie falsifiable de la compréhension, elle n'exclut en aucune façon d'autres théories, falsifiables ou non, du type de celles que voudraient élaborer les tenants du *paradigme cybernéto-cognitivist* ou du *paradigme auto-connexioniste*¹². Elle a le statut du paradigme ptoléméen avant Copernic, Kepler et Galilée : une hypothèse intelligible qui propose une représentation intelligible, là de l'univers, ici de la cognition. H. A. Simon illustre ceci par l'histoire de développements fructueux de la chimie au XIX^e siècle (A. Demailly, J.-L. Le Moigne, 1986, p. 34) : les chimistes d'alors ne disposaient pas de la théorie des réactions chimiques que la physique nucléaire leur assure à peu près aujourd'hui. Mais ils construisaient des hypothèses intelligibles qui permettaient des raisonnements élaborant des propositions d'action. Parmi elles, il y avait notamment l'hypothèse de la structure atomique de la matière et de la construction des molécules (nouvelles ou non) par combinaisons d'atomes : la physique (ou la chimie) quantique, aujourd'hui tenue pour la théorie non seulement intelligible, mais aussi explicative des réactions chimiques, est sans doute directement héritière de cette hypothèse¹³... Mais pouvait-t-on le prédire il y a cent ans ?

Comprendre l'incompréhension

Comprendre la compréhension en la concevant comme l'exercice d'un système – quel qu'il soit suggère H. Simon : *être humain, chien, dauphin ou ordinateur* (A. Demailly, J.-L. Le Moigne, 1986, p. 36) – disposant d'une capacité de traitement de symboles physiques, comme l'exercice d'un système de computation (ou d'une machine computante selon A. Turing), on conviendra que l'exercice n'a rien d'impossible. Il est pourtant apparemment trop difficile pour un certain nombre de scientifiques et de philosophes contemporains : pour ne pas supporter trop longtemps l'humiliation de leur incapacité à pratiquer un exercice que d'autres auprès d'eux pratiquent apparemment correctement (au prix, convenons-en, d'une ascèse intellectuelle qui leur sert précisément de garde-fou – au sens propre du mot), ils s'acharnent à axiomatiser l'impossibilité de cette hypothèse qu'ils proclament alors hérétique : acharnement qu'il importe de comprendre (quitte à le faire en s'aidant de

11. Le problème général de « l'indécidabilité » en mathématique, formulé par Hilbert en 1928 sous le nom depuis célèbre de l'*Entscheidungsproblem*, qui allait directement susciter les thèmes de Gödel en 1931, l'article de Turing en 1936, et la fondation du Lambda Calcul par Church la même année.

12. On retient ici les formulations proposées par F. Varela dans une de ses plus récentes contributions : « The Science and Technology of Cognition : emergent directions » dans *Economics and Artificial Intelligence*, J. L. Roos (éd.), Oxford, Pergamon Press, 1987.

13. Sur la légitimité épistémologique des hypothèses, il faut renvoyer à Gerald Holton, *L'invention scientifique. Themata et interprétation*, traduit de l'anglais, Paris, PUF, en particulier p. 40-42 sur « l'hypothèse non fingo » de Newton. Et bien sûr, sur l'invention des hypothèses – invention qui nous concerne spécifiquement ici à *Patterns of Discovery. An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, N.R. à Hanson, Cambridge University Press, 1958. ([traduit en français](#))

la théorie de la computation !) par probité sans doute, mais aussi, fort banalement parce que ces scientifiques sont politiquement puissants et n'aiment pas convenir qu'ils se comportent vis-à-vis de la théorie des machines computantes comme Lyssenko vis-à-vis des théories génétiques.

Peut-on citer une réponse de H. A. Simon à qui cette question *Pourquoi cet acharnement contre une hypothèse qui s'avère fructueuse ?* était posée :

“ J'ai une hypothèse à ce propos, ce n'est qu'une hypothèse, qui a néanmoins quelque fondement historique : je pense qu'il existe de par le monde des idées fortes qui s'avèrent très proches des images que nous avons de nous-mêmes, des représentations fondamentales que nous nous faisons de la condition humaine et de la nature humaine. L'idée de Copernic selon laquelle la Terre n'était pas le Centre de l'Univers mais qu'elle dansait autour du Soleil choqua une idée qui était particulièrement centrale dans la théologie de cette période et entraîna des réactions plutôt vives de la part des autorités... Je crois qu'une large part (... de la polémique que suscite l'intelligence artificielle...) provient de ce que celle-ci (l'hypothèse de la représentation de la compréhension par une machine computante) défie la thèse du caractère unique de l'homme dans le Cosmos. ” (Dans A. Demailly, J.-L. Le Moigne, 1986, p. 597).

Pour comprendre l'incompréhension fréquente de la compréhension par l'hypothèse computationnelle, H. A. Simon suggère donc une hypothèse de type téléologique : sans doute surprenante lorsqu'on observe qu'elle s'applique à une classe de scientifiques et de philosophes qui se proclament volontiers laïcs en cette fin de XX^e siècle ! Mais apparemment validée empiriquement par l'observation des textes : les propositions scientifiques dites d'impossibilité sont rares et habituellement difficiles à démontrer de façon définitivement convaincante ! (l'impossibilité du mouvement perpétuel par exemple). Or on est stupéfait par le nombre d'écrits de scientifiques explicitant l'impossibilité de l'interprétation de la compréhension par la théorie des machines computantes sans jamais l'argumenter : cette impossibilité est une donnée de foi, et donc un argument théologique.

“ Les ” méthodes scientifiques : sculpter et construire

Il faut peut-être développer une autre hypothèse pour compléter notre compréhension de cette incompréhension, car je présume qu'elle subsistera, au moins partiellement, le jour où l'objection théologique sera résorbée (un jour qui risque d'être lointain si l'on se souvient qu'il a fallu plus de trois siècles pour faire annuler la condamnation de Galilée par les théologiens). On souhaite souligner ici une hypothèse de type épistémologique : la possibilité de la théorie computationnelle de la compréhension implique peut-être en effet une remise en question du caractère exclusif de la méthode analytique au cœur de ce qu'il est convenu d'appeler “ la méthode scientifique ”.

En un mot : le processus de construction des connaissances suscitant compréhension des phénomènes n'est peut-être pas seulement un processus d'analyse et donc de disjonction d'un sujet et d'un objet : il est peut-être aussi un processus (concurrent, différent, autonome) de conception (en anglais : *design*) et donc de conjonction d'un sujet et d'un projet. Notre effort pour concevoir la compréhension doit nous permettre en retour de comprendre la conception, exercice dont on conviendra qu'il n'est pas encore très familier dans nos cultures, et qu'il mérite peut-être d'être tenté : “ Le problème du concepteur nous apparaît comme capital, critique, décisif ” annoncera Edgar Morin dès le tome I de *La méthode* (1977, p. 178).

Comprendre la conception

Concevoir, dit à peu près Plaute, *c'est chercher ce qui n'existe nulle part et pourtant le trouver*. Quatremère de Quincy méditant sur cette proposition paradoxale en inférait “ la meilleure distinction à faire entre les mots inventer (ou concevoir un idéal) et trouver (ou analyser un réel) : ce qui existe peut se trouver ; on n'invente que ce qui n'existe pas ” (Quatremère de Quincy, 1823-1980). Et il tirera argument de ce que l'on observe toujours des différences entre les copies du même modèle (un nu par exemple) établies par des dessinateurs différents, pour conclure que le modélisateur invente son dessin bien plus qu'il ne le trouve. G. Bateson (1977, p. 57) après bien d'autres, reprendra l'argument dans un célèbre métalogue :

“ La fille. – C’est bien Newton qui a découvert la gravitation, avec la pomme, n’est-ce-pas ?
Le père ? – Non chérie, il l’a inventée.
La fille. – Oh, Papa ! ”

Lorsque le positivisme devint l’idéologie scientifique

Dès lors que nous convenons que *nous ne raisonnons que sur des modèles* (Paul Valéry) – ou plus correctement, que nous comprenons nos raisonnements comme s’exerçant sur des modèles – les procédures par lesquelles nous disposons de ces modèles de raisonnement méritent, si l’on veut raison garder, qu’on les comprenne soigneusement : cette méta-compréhension de la compréhension est certes une compréhension, mais ce système de traitement de symbole nécessite un méta-système capable de le construire.

Ces modèles sur lesquels nous raisonnons nous sont-ils innés ? Devons-nous les acquérir ? Pourrions-nous en construire de nouveaux, qui n’existent pas encore et qui peut-être n’existeront que pour nous ? La question sans doute n’a pas de réponse certaine : les jeux de l’inné et de l’acquis, ou de la nature et de la culture, sont des jeux à somme non nulle : les deux thèses sont gagnantes aussi longtemps que l’une ne prétend pas réduire l’autre : toute l’œuvre d’Edgar Morin le montre à satiété (mais il nous faut, ici, être insatiable !). La science occidentale sort certes d’une longue période de glaciation positiviste amorcée il y a trois siècles par l’érection en méthode universelle de la disjonction cartésienne de l’objet et du sujet. Si bien que la reconnaissance des vertus et de la légitimité des épistémologies constructivistes reconstruites par P. Valéry, G. Bachelard, J. Piaget et tant d’autres que nous osons timidement relire aujourd’hui, est encore une entreprise culturelle audacieuse : en écrasant les épistémologies constructivistes et en sacralisant l’analyse (découper pour découvrir le modèle – ou la théorie – présumée dissimulée sous les voiles du réel perçu), l’idéologie positiviste (car cette épistémologie s’est vite instituée en idéologie : une religion même dont le messie Auguste Comte s’était institué en grand prêtre sans susciter étonnement ni véritable indignation !), a révélé expérimentalement les méfaits de ce totalitarisme un instant triomphant : son triomphe le détruit, l’histoire de la physique quantique ou l’anecdote de l’avion renifleur l’illustre suffisamment !

Mais il meurt sur un champ de ruines : trop longtemps asphyxié, le constructivisme reprend à peine son souffle et il lui faut mobiliser toutes nos énergies pour reproduire un ancrage épistémologique suffisamment instrumenté pour être enseigné et pratiqué “ en raison gardant ”... et donc en se souvenant qu’il lui faudra à son tour éviter d’écraser son partenaire : il est dur vraiment, pour David, de jouer avec Goliath en ne cherchant pas à l’écraser ! Herbert A. Simon et Edgar Morin nous apportent aujourd’hui une réflexion épistémologique exceptionnellement ouverte qui nous incite à construire sans détruire, et à construire en jouant le jeu de la raison. Un jeu impossible dont les joueurs sont l’arbitre, puisqu’il n’y a peut-être pas d’autre vérité suprême que *le dessein et l’action du sujet concevant en raison le projet de connaître*¹⁴.

La première phase du jeu repose donc sur la capacité de la raison à trouver des modèles déjà faits et à *inventer* (concevoir et construire) des modèles *qui n’existaient pas encore*.

L’analyse : sculpter pour découvrir le modèle caché

Trouver des modèles afin de raisonner à fin d’intervention dans une situation, c’est analyser cette situation et explorer un portefeuille de modèles disponibles jusqu’à ce que, à la manière d’un puzzle, on puisse faire correspondre aux cases du modèle les pièces découpées lors de l’analyse. En pratique, un souci légitime d’économie conduit à choisir discrètement un modèle *a priori* puis à organiser la découpe de telle façon que les pièces s’ajustent “ comme par hasard ” dans les cases réservées à leur intention. Nul, bien sûr, n’a jamais énoncé aussi crûment les “ comment ” de l’universelle analyse mais les auteurs courageux qui s’y sont essayés ne démentiront pas : ainsi Jacques Arsac, dans *La science informatique* : “ L’analyse : il faut d’abord... voir si l’on dispose d’une

14. C’est à dessein que l’on se réfère ici au « dessein et à l’action du sujet concevant en raison » : on n’a pas encore suffisamment relevé l’« insupportable défi » de F. A. Hayek, assurant que les sociétés humaines étaient le résultat de l’action des hommes mais pas celui de leurs desseins (« The Results of Human Action, but not of Human Design ») paru pour la première fois en français en 1967, en l’honneur de J. Rueff, dans E. M. Claassen (dir.), *Les fondements philosophiques des systèmes économiques*, Paris, Payot, 1967. Voir aussi : [Auto-Eco-Re-Organisation Sociale et Complexité : Des desseins humains pour et par l’action humaine](#)

figuration permettant d'aborder le problème. ” (J. Arsac, 1970, p. 14.) Il ajoutera d'ailleurs avec probité que “ cette première phase de tout traitement de l'information est à (son) avis la plus difficile... une chose que je ne sais pas enseigner ” (*ibid.*, p. 158).

On a rarement souligné le caractère paradoxal de cette situation : trois siècles après *Le discours de la méthode* qui institutionnalisait la méthode analytique en tant que méthode scientifique par excellence, les scientifiques les plus éminents conviennent qu'ils ne savent pas enseigner l'analyse. Peut-être parce qu'elle est innée : on analyse comme Monsieur Jourdain parle en prose ?

Il serait plus exact de convenir que l'enseignement de l'analyse se ramène à la transmission du plus grand nombre possible de modèles. La fonction de l'enseignement est sans doute de charger autant que faire se peut le portefeuille de modèles que chacun engrange... ou engramme. Plus ce portefeuille est volumineux (“ la grosse tête ”), plus grande sera sans doute la capacité de raisonnement ?

Dans la mesure où la procédure s'est longtemps avérée acceptable sinon efficace, on ne s'interrogeait guère sur les modalités de construction des modèles originaux : comment Ohm, ou Joule, ou Kepler ont-ils *inventé* leur loi ? C'est en se reposant cette question (et en réfléchissant sur son expérience d'enseignant *transmetteur* de modèles que G. Polya a identifié, avec le concept d'heuristique, le *caractère cognitif et donc computationnel du raisonnement* : on apprend à inventer, on apprend à concevoir, on apprend à *projeter*, c'est-à-dire “ à transformer une carrière et une forêt en édifice, en équilibres magnifiques... ” (P. Valéry ¹⁵). Quelle est l'opération du génie ? interrogeait déjà Quatremère de Quincy, qui répondait : “ on ne peut la définir que par la recherche des voies et moyens qu'il emploie... ” (Quatremère de Quincy, 1823-1980, p. 242).

La conception : construire pour inventer un modèle nouveau

Cette recherche des voies et moyens, cette quête de “ la méthode, système d'opérations extériorisables qui fasse mieux que l'esprit le travail de l'esprit ” (P. Valéry) est une entreprise de compréhension : nous pouvons retenir l'hypothèse d'une interprétation du processus cognitif de conception-construction des modèles sur lesquels un système *raisonnant* s'exerce par un processus de compréhension, et donc par un processus de computation symbolique. Peut-être faut-il le marteler encore : l'hypothèse de la représentation de la conception de modèles par une opération de computation symbolique est une hypothèse, et n'est pas une vérité démontrée (des hypothèses concurrentes peuvent lui être opposées, y compris celle de la non-existence des processus de conception). Elle ne présente pas de caractère d'impossibilité *a priori*, et elle s'avère intelligible et instrumentale : on peut en effet réaliser artificiellement un système (qui sera par exemple une *Gedanken experiment*, expérience par la pensée, ou un programme informatique) qui *produit* des modèles conçus, des *modèles qui n'existent nulle part et que pourtant l'on trouve*. Cette instrumentalité ne vaut pas preuve, ni démonstration, pas plus que le cadran solaire ne valait démonstration de la vérité du modèle de Ptolémée.

Une théorie computationnelle de la conception

Pour être instrumentale, cette hypothèse de l'interprétation computationnelle de l'acte de concevoir doit pourtant être sérieusement spécifiée : les premiers termes d'une théorie de la conception sont aujourd'hui dégagés et peuvent être succinctement récapitulés pour inciter à de nouveaux développements dont on sait reconnaître les germes dans *La méthode* (E. Morin, 1986, p. 185-190).

Associé à cette entreprise de théorisation de la conception, il n'est pas surprenant de rencontrer quelques architectes, enseignant l'architecture (et donc, nécessairement la science de la conception !) ¹⁶ et quelques ingénieurs (qu'ignorent encore, hélas, les écoles d'ingénieurs, lesquelles sont si imprégnées par l'idéologie positiviste qu'elles réduisent la conception aux gadgèteries du “ design ”, façon “ art-déco ” !). Les références fondamentales nous sont aujourd'hui fournies par les

15. P. Valéry, « Eupalinos ou l'Architecte », dans *Œuvres complètes*, tome II, Paris, Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, p. 146.

16. On veut mentionner ici les contributions décisives de [P. Boudon](#), et, dans un domaine voisin, de A. Rénier. Voir, par exemple, dans *Sciences de l'intelligence, sciences de l'artificiel*, le chapitre sur les théories de la conception, l'article de P. Boudon, le chapitre sur la représentation des connaissances et l'article de A. Rénier.

premiers grands “cogniticiens”¹⁷ qui savent reprendre, à l’incitation de Paul Valéry, l’œuvre entreprise il y a cinq siècles par Léonard de Vinci¹⁸ : Jean Piaget et surtout Herbert A. Simon nous proposent une première lecture, l’une plus synchronique (H. A. Simon), l’autre plus diachronique (J. Piaget) de cette compréhension de la conception ; peut-on camper succinctement ces principaux arguments, au moins pour manifester leur caractère “enseignable” *a priori* ?

• *Concevoir : un projet dans un environnement*

“ Et je développais une méthode sans lacune : où ?, pour quoi ?, pour qui ?, à quelle fin ?... ” En quelques mots, que Paul Valéry attribue à Socrate rêvant d’être l’Architecte qu’il aurait pu être¹⁹, les premières clefs de toute conception nous sont données : concevoir c’est la conjonction intentionnelle d’un sujet qui dit “ je ” et d’un projet qui s’incarne : *où ?, à quelle fin ?*

*Ce retour de la finalité*²⁰ dans la représentation de l’action cognitive peut s’entendre comme une endo-causalité ou encore une causalité auto-générative : celle du système qui produit – et qui transforme – ses propres lois, les règles qui guident ses itinéraires computationnels : le “ jeu ” interminable des fins et moyens²¹, cette incessante et toujours imparfaite entreprise itérative de conjonctions de fins et de moyens, que l’on rencontre pratiquement toujours au cœur des programmes fondateurs de l’intelligence artificielle (“ Means-ends methods ” chez Newell et Simon²², “ Hill Climbing Methods ” chez Minsky²³, etc.), jeu qu’il est toujours possible de représenter par un *système de computation de symboles doté de quelques capacités de mémorisation*²⁴.

• *Concevoir : une nécessaire ambiguïté, une incertaine finalité*

On a si longtemps cru que pour qu’un raisonnement soit rigoureux il fallait que ses prémisses soient claires et nettes (critère parfaitement légitime pour autoriser les découpages de l’analyse) que l’on a quelque difficulté mentale à se départir de cette conviction.

Il apparaît pourtant que ce critère n’est en rien nécessaire : la qualité (ou la rigueur) d’un raisonnement n’est pas dépendante *a priori* des modèles sur lesquels il s’exerce ; elle se fonde sur sa propre cohérence et donc sur sa reproductibilité : est-il *programmable* sous forme computable ?

“ *Hostinato Rigore* ”²⁵ ”.

Une heuristique programmée est, *a priori*, un raisonnement aussi rigoureux qu’un algorithme dont on a démontré la convergence : l’économie du contrôle *a priori* de sa rigueur sera sans doute plus

17. Le mot « cogniticien » n’est peut-être pas très heureux, mais il semble en passe d’être accepté. Il traduit le non moins éprouvant « ingénieur de la connaissance » (*knowledge engineer*) gaillardement suscité par le pragmatisme anglo-saxon, lequel ne s’embarrasse guère de considérations épistémologiques, voire éthiques.

18. Ne peut-on dire que le *Traité de la peinture* de Léonard de Vinci est un « autre » discours de la méthode remarquablement puissant et fort correctement argumenté un siècle avant celui de R. Descartes ? Surtout si on le lit à l’aide de l’étonnante *Introduction à la méthode de Léonard de Vinci* (pourquoi ce mot : méthode ?) publiée en 1894 par P. Valéry alors âgé de 23 ans.

19. Eupalinos ou l’Architecte (Pléiade, II, p. 146).

20. La formule est d’Edgar Morin, *La méthode*, tome 1, p. 259.

21. « Il n’y a pas intégration parfaite... il y a jeu... des fins locales aux fins générales, des fins parcellaires aux fins globales... » E. Morin, *La méthode*, tome I, p. 265.

22. « Ce que nous appelons maintenant la méthode fins-moyens », A. Newell et H. A. Simon, dans *Human Problem Solving*, New York, Prentice Hall, 1972, p. 885.

23. « Hill-Climbing » : une escalade ; peu importe l’itinéraire détaillé pourvu qu’on monte. Parfois, bien sûr, c’est l’impasse et il faut revenir à la précédente bifurcation : une « connexion heuristique », dira M. Minsky qui a conceptualisé ces procédures de recherches de gradients dans un article célèbre : « Steps Towards Artificial Intelligence » écrit en 1961 et publié dans l’indispensable *Computers and Thought*, E. Feigenbaum et J. Feldman, McGraw Hill, New York, 1963.

24. E. Morin ne souscrita peut-être pas à cette formule à la lettre : là où je propose « il est toujours possible », il propose de distinguer « les machines artificielles » (tome I, p. 265) qui pourraient assurer une intégration parfaite, sans jeu, des autres « produits organisés de la nature » (selon Kant), nécessitant cette relativité incertaine des enchevêtrements fins – moyens – fins. C’est ce « jeu » (ces heuristiques tâtonnantes) dont on prétend ici qu’il est, lui aussi, représentable par une machine artificielle capable de computer des symboles (représentable et donc intelligible ; mais pas pour autant expliqué).

25. *Hostinato Rigore* : Une rigueur obstinée. La devise étonnante de Léonard de Vinci (en pleine Renaissance italienne, à la fin du XVe siècle) sut étonner assez Paul Valéry : « Elle me plaît tant » (lettre à son frère, 1894). Si l’italien contemporain écrit « ostinato », la vignette de Léonard, dessinée vers 1500, porte bien « hostinato » avec un « h ».

grande, mais elle ne dispensera pas d'un contrôle *a posteriori* ("une erreur de calcul est si vite arrivée"), ce qui remettra à parité l'économie effective des deux formes de raisonnement. Dès lors, le concepteur dispose d'une sorte d'indicateur *a priori* : s'il perçoit une situation claire et nette, il est quasi certain qu'il dispose déjà d'un modèle qui supporte le raisonnement de traitement. La formule de Boileau peut s'inverser dès lors qu'on l'entend pour qualifier l'acte poétique de conception et non plus ce produit fini qu'est le concept froid.

" Ce qui se conçoit bien s'énonce confusément
et les mots pour le dire arrivent malaisément "

Une fois encore, il faut relire ici Edgar Morin établissant ce qu'il appellera plus tard *la méthode de la complexité : le problème du concepteur* est d'assumer la complexité, l'ambiguïté de son entreprise : n'est-ce pas le message que nous livrent les architectes, ces concepteurs par excellence : l'ambiguïté en architecture (R. Venturini, 1966-1976).

"Le problème de l'observateur-concepteur nous apparaît comme capital, critique, décisif... Il doit disposer d'une méthode qui lui permette de concevoir la multiplicité des points de vue puis de passer d'un point de vue à l'autre. Il doit disposer de concepts théoriques qui, au lieu de fermer et d'isoler les entités, lui permette de circuler productivement. Il doit concevoir en même temps l'individualité des êtres machinaux et les complexes de machines interdépendantes qui les associent... Il a besoin aussi d'une méthode pour accéder au méta-point de vue sur les divers points de vue, y compris son propre point de vue de sujet inscrit et enraciné dans une société. Le concepteur est dans une situation paradoxale..." (E. Morin, 1977, p. 179.)

Une telle entreprise n'est pas réductible à une description algorithmique stable, aussi sophistiquée soit-elle. On le voit bien à l'examen des développements des méthodes dites de "conception assistée par ordinateur"²⁶. Les programmes de CAO fondée sur des algorithmes d'optimisation s'avèrent vite uniformisants, déqualifiants, sclérosants même. Alors que les programmes de CAO "intelligente", fondée sur des manipulations de multiples d'heuristiques plausibles s'avèrent souvent créatifs, suggérant parfois des solutions inattendues ! En général parce qu'ils conduisent à complexifier le problème initial, en argumentant le nombre de dimensions selon lequel il peut être considéré.

• *Concevoir : une organisation symbolique productrice d'elle-même*²⁷

Concevoir est une action, une action de computation symbolique, telle est du moins notre hypothèse de base. *L'action crée de l'organisation qui crée de l'action* ; elle est, propose E. Morin (1977, p. 156), "organisation". La description et la simulation de la computation peuvent donc être représentées par une organisation : *l'organisation d'un système de traitement de symboles physiques*²⁸ et donc *l'organisation computationnelle-informationnelle-communicationnelle*²⁹. On postule ici la correspondance des deux formulations paradigmatiques de la pensée raisonnant (ou de la raison

26. Voir, par exemple, *Méthodes de conception et liberté cognitive du concepteur* (Rapport de fin de contrat MRT-TTE 1985) de C. Giraud, St. Hanrot, J.-L. Le Moigne, H. Verin (N.R. GRASCE, CNRS 935, n° STS 85-07).

27. Dans l'introduction qu'il a rédigée pour *Autopoïesis and Cognition* (H. Maturana et F. Varela, D. Reidel, 1980) H. Maturana raconte comment F. Varela et lui furent conduits à construire le mot « autopoïese » pour désigner le processus cognitif de production de soi des systèmes vivants : la distinction grecque entre la *praxis* (faire : action de reproduire) et la *poïesis* (faire : action de créer, de produire) mettait en évidence cette action computationnelle « créatrice » dont il fallait rendre compte.

28. Le concept de « Symbol Processing System » (ou « Information Processing System ») sur lequel H. A. Simon a construit le paradigme de la computation, est en tout point compatible avec le concept d'organisation, établi par E. Morin. L'organisation, qui prend en compte la composante diachronique (le système qui se produit dans le temps) est sans doute plus complet et plus complexe, que le STI (IPS), et ce dernier propose une interprétation plus affinée des processus de computation symbolique. Le chapitre 2 de *Human Problem Solving* (A. Newell et H. A. Simon, 1972), présentation d'ensemble du paradigme, que l'on a partiellement repris et discuté pour une présentation en langue française dans l'introduction générale de *Sciences de l'intelligence, sciences de l'artificiel* (1986, PUL), p. 19-26.

29. « L'incompressible paradigme » selon E. Morin *La méthode*, tome II, p. 351. E. Morin parlera ailleurs du paradigme de la complexité.

pensant) dont nous disposons : celle d'H. A. Simon (le paradigme du système de traitement de l'information, ou de la rationalité limitée³⁰) et celle d'E. Morin (le paradigme de l'auto-éco-réorganisation, ou de la complexité). Postulat qu'il faudrait bien sûr argumenter, ce qui le révélerait d'autant plus complexe que ses formulations se développent encore aujourd'hui³¹. Mais postulat suffisamment étayé aujourd'hui pour autoriser l'interprétation *en compréhension* dont nous avons besoin pour fonder une théorie et une pratique computationnelle de la conception : l'action de chercher – par un exercice de manipulation de symboles – ce qui n'existe pas, et pourtant le trouver : le créer.

La modélisation de ces exercices de manipulation de symboles, tant algorithmiques qu'heuristiques, est aujourd'hui bien suffisamment élaborée pour qu'on prétende l'enseigner : les premiers manuels d'enseignement de l'intelligence artificielle nous livrent précisément de telles procédures reproductibles de modélisation *des raisonnements*, procédures qui ne sont plus réduites aux règles d'une logique formelle et à une collection fermée d'algorithmes dont la convergence est démontrée. Le progressif développement des logiques non standards³² et le déploiement des familles d'heuristiques plausibles³³, apportent à une théorie computationnelle de la conception un appareillage dont l'instrumentation peut aujourd'hui être tenue pour acquise. Même si l'insuffisance de nos théories computationnelles de la mémorisation constituent aujourd'hui le talon d'Achille le plus visible de ces développements, la compréhension du processus de computation par un système computationnel de modélisation symbolique est telle qu'elle permet la construction de systèmes d'aide à la modélisation et la formation de systèmes auto-modélisateurs.

• *Concevoir : “What makes symbols symbolic ?”³⁴*

La compréhension de l'acte cognitif de la conception permise par la théorie du système computationnel de modélisation (que l'on se réfère à la formulation simonienne ou à sa formulation morinienne) nécessite la compréhension duale du concept de symbole : il ne suffit pas de le baptiser information, donnée, digit ou bit pour le rendre plus aisément décodable. *Plus le grain de matière est petit, plus il a de réalité substantielle* : la métaphore de G. Bachelard (1934, p. 144) s'adapte parfaitement à ce grain que doit moudre toute computation : *plus le symbole est “élémentaire”, plus il s'avère complexe, irréductible à une explication “claire et nette”*. Pour comprendre la conception dans sa complexité, il faut concevoir la complexité du symbole. C'est ce défi que A. Newell et H. A. Simon relevèrent dès leurs premiers travaux fondateurs de l'intelligence artificielle et des sciences de la cognition vers 1955. La formulation qu'ils synthétisèrent en 1972 dans *Human Problem Solving*

30. H. A. Simon utilise presque indifféremment les deux expressions. Il parle aussi, dans le contexte des sciences de la décision, du paradigme du *satisficing* (Satisficing). Voir notamment, en traduction française : [« L'unité des arts et des sciences : la psychologie de la pensée et de la découverte »](#), (texte d'une adresse à l'Académie Américaine des Arts et des sciences, 1982), publiée dans AFCET Interfaces, n° 15, janvier 1984.

31. E. Morin annonce de tels développements que présenteront les volumes 2, 3, 4 du tome III de *La méthode* (1986). H. A. Simon précise, dans *Sciences de l'intelligence, sciences de l'artificiel*, (1986) que depuis ses premières formulations, le paradigme STI ne cesse de se développer et n'est pas encore «achevé» (p. 607-608).

32. Depuis les développements des logiques symboliques, à partir de 1936 (Church, Turing...), les entreprises de formalisations logiques se déploient dans tant de directions qu'il devient pédant de les énumérer : logiques modales, logiques temporelles, logiques récursives, auto-référentielles, conjonctives. Les travaux des « nouveaux logiciens » sont certes difficiles et abstraits, mais on peut présumer quelques pressions de « la demande sociale » visant à nous les rendre plus accessibles. Si certains se sont sentis floués par les abus de langage des «logiques floues», les développements sur les logiques récursives suscitées par les lectures de F. Varela des travaux de G. Spencer Brown (1969 : *The Laws of Form*) s'avèrent beaucoup plus encourageants (cf. par exemple P. Bourguin : « La Modélisation Assistée par Ordinateur » dans *Sciences de l'intelligence, sciences de l'artificiel*).

33. Dès 1961, M. Minsky concluait son article sur l'évolution de l'I.A. (cf. note 32) en assurant : « Chacun aujourd'hui devrait connaître l'œuvre de G. Polya ». Et, l'article de H. A. Simon, A. Newell et J. Shaw qui initialisaient, en 1962, la recherche l'on présente ici : « The Processes of Creative Thinking » (repris dans : H. A. Simon : *Models of Thought*, Yale University Press, 1979), la référence à l'œuvre fondatrice de G. Polya est également explicite (p. 152).

34. La question est posée dès l'introduction de *Human Problem Solving* par A. Newell et H. A. Simon (1972), p. 24. Elle fera l'objet de leur célèbre *Conférence Turing* de 1975 : « Computer Science as empirical inquiry : symbols and search » (communication of the ACM, 76, vol. 19, nb. 5, p. 113-126). Elle est reprise dans ces termes par E. Morin (*La méthode* tome III, vol. 1, p. 50) qui la développera en partie sous l'argument de « la pensée symbolique » (p. 155 et suiv.). L. Sfez amorcera un débat avec H. A. Simon sur ce thème dans la postface interactive qu'il a rédigée pour *Sciences de l'intelligence, sciences de l'artificiel* (1976). Interactive, car son propos (développant son travail de politologue sur la production sociale des symboles) suscitera un commentaire spécifique de H. A. Simon (p. 698), commentaire commenté par L.Sfez. La question s'enrichit en s'ouvrant.

leur valut le prix Turing en 1975 (cf. note 34), ce qui, en retour, nous vaut un des textes les plus élaborés dont on dispose aujourd'hui pour comprendre *l'action intelligente* et donc en particulier la conception, par un système de computation symbolique. On se souvient de la paraphrase de W. McCulloch (1961) par laquelle ils introduisaient leur discussion : “ Qu'est-ce qu'un symbole, qu'une intelligence peut utiliser, et qu'est-ce qu'une intelligence qui peut utiliser un symbole ? ³⁵ ”.

On peut, semble-t-il, penser aujourd'hui un peu plus avant cette intelligence du symbole en se proposant une interprétation réursive, manipulable dès lors que nous entendons la possibilité de formalismes conjonctifs, capables de manipuler *à-la-fois – l'opérateur-et-l'opérande, opérande qui, opéré, produit l'opérateur qui l'opère à nouveau*. Il faut, pour argumenter cette théorie du symbole – au demeurant embryonnaire – articuler la thèse de A. Newell et H. A. Simon (p. 21) (*le symbole est un opérateur qui à la fois désigne un objet et produit d'autres symboles associés à cet objet*) et le théorème n° 3 de von Foerster :

“ *La cognition est une opération réursive de computation à comportement propre, ou à point fixe* ³⁶ ”.

Elle conduit à une définition complexe et intelligible que l'on représente dans ces termes :
Le symbole est un opérateur récursif à point fixe, opérateur conjoignant les deux fonctions de désignation et de production de symboles, et forme physique résultat de cette opération. Il peut notamment se désigner lui-même (“ Le symbole est ce qu'il symbolise ”, E. Morin, 1986, p. 157) et se produire lui-même (auto-référence) et produire d'autres symboles, lesquels, récursivement... ³⁷.

• ***Connaître c'est aussi concevoir : les sciences de la conception sont sciences du génie.***

Cette théorie de l'opération symbolique est nécessairement duale de la théorie de la computation : ainsi défini, le symbole est opérateur de computation qui produit des symboles lesquels, récursivement...

Elle rend compte du comportement des programmes qui *s'écrivent eux-mêmes en fonction du déroulement de leur propre exécution*. Elle propose une compréhension intelligible des processus computationnels suscitant *la création ou l'invention du nouveau et du sens, et donc de la conception*. Elle rend concevables des systèmes qui conçoivent, c'est-à-dire *qui cherchent ce qui n'existe pas encore et qui pourtant le trouvent*.

Cette interprétation computationnelle de la conception est sans doute difficile à décoder dans une culture qui avait sacralisé la disjonction analytique de l'opérande et de l'opérateur : si l'on peut “ concevoir ” l'analyse, on ne peut “ analyser ” la conception (au moins dans une problématique générale qui fonde l'acte de compréhension : sur une opération cognitive de conjonction³⁸) : on peut la comprendre, en établir des représentations symboliques, les simuler. C'est, incidemment, ce que font les quelques programmes de “ conception assistée par ordinateur ” qui assistent effectivement la conception.

35. Le texte initial de W. McCulloch (1961) interrogeait la co-définition du nombre et de l'homme. Le nombre, seulement, et pas tous les symboles concevables ; l'homme seulement, et pas tous les systèmes intelligents concevables (restriction que S. Papert semble n'avoir pas perçue tout en concluant son livre *Jaillissement de l'esprit, ordinateur et apprentissage* (1980, trad. française 1981, Flammarion) par cette formule. S'il fallait en un mot présenter le clivage le plus fondamental entre le paradigme neuro-cybernétique et le paradigme computo-symbolique, ce serait peut-être sur cette extension qu'on pourrait l'argumenter. (La formule apparaît p. 115 dans l'article « Conférence Turing » de A. Newell et H. A. Simon : cf. note 53).

36. H. von Foerster a introduit cet argument en 1973 dans un article intitulé « On Constructing a Reality » que l'on trouve dans ses œuvres colligées par F. Varela *Observing Systems*, Seaside, Cal., Inter-systems Publication, 1981 et 1984). J'ai proposé de désigner cet énoncé sous le nom de « Troisième théorème de von Foerster » dans « L'intelligence de la complexité » publié dans *Sciences et pratiques de la complexité*, Université des Nations Unies (version française à la Documentation française, Paris, 1986, repris dans « [Intelligence de la complexité](#) » de E Morin et JL LM, 1999, chap.5

37. Cette définition a été présentée pour la première fois dans l'article intitulé : « Intelligence artificielle et raisonnement économique » (J.-L. Le Moigne, GRASCE, CNRS 935, NR 85-16, novembre 1985). In *Revue Mondes en développement*, T 18, 1990, n° 72, p 11-18.

38. L'étonnant chercheur russe A. Bogdanov avait eu très explicitement la conscience des limites apportées à la cognition par la réduction du connaissable au disjoignable. On accède depuis 1980 à ses *Essays in Tectology* (publiés en russe entre 1913 et 1921) grâce à une traduction anglaise de G. Gorelik (Seaside, Cal., Intersystems Publications). On a commenté son « Connaître, c'est d'abord conjoindre » dans une étude intitulée : *Formalisation systémique de la théorie de l'organisation : vers les logiques de l'organisation* (GRASCE, CNRS 935, NR. 82-02, mars 1982).

La plupart des programmes de CAO vendus dans le commerce sont en fait des programmes de calcul exécutant un algorithme clair et net “ d’optimisation simplifiante ³⁹ ”.

C’est en général en conception architecturale que l’on rencontre habituellement ces programmes de CAO “ complexifiants ” plutôt que réducteurs. Est-ce par hasard si la métaphore de la conception architecturale joue un si grand rôle dans les textes de grands théoriciens de la conception, l’acte de création par excellence, que sont Paul Valéry ou H. A. Simon ? La célèbre métaphore de K. Marx comparant la perfection géométrique de la cellule de cire de la ruche construite algorithmiquement par l’abeille aux tâtonnements hésitants de l’épure qu’esquisse maladroitement l’architecte débutant, illustre ici notre propos : “ Ce qui distingue dès l’abord le plus mauvais architecte de l’abeille la plus experte, c’est qu’il construit la cellule dans sa tête avant de la construire dans la ruche. ” (K. Marx, p. 728.) Construire dans sa tête avant de construire dans la ruche, telle est peut-être la définition la plus satisfaisante de la conception entendue comme un acte intelligible de computation.

On comprend que H. A. Simon ait proposé de fonder une épistémologie des sciences de la conception, qui fasse de l’acte créateur autre chose qu’une banale “ application ” d’une connaissance élaborée analytiquement ailleurs⁴⁰. Pour être intelligible, cette réflexion ouverte, complexe et complexifiante, sur l’intelligibilité de l’acte créateur appelle la reconnaissance du paradigme constructiviste de la computation symbolique, paradigme englobant et dépassant le paradigme positiviste du calcul ⁴¹.

Cette mise en perspective de la conception par la méthode morinienne de complexité décevra le lecteur légitimement avide d’illustrations tangibles : l’interprétation du processus cognitif mis en œuvre par Salomon pour concevoir *le jugement de Salomon* permettra peut-être de suggérer un exercice de décodage, reliant *la conception de la conception à la connaissance de la connaissance* ⁴². G. Polya avait déjà suggéré la puissance du raisonnement par heuristique en comparant la production d’un jugement équitable (*fair*) produit par un jury à celle d’un jugement algorithmique “ correct ” mais parfois “ injuste ” produit par un juge capable seulement d’“ appliquer le code ” : aucun code juridique ne doit en effet permettre la computation anticipatrice et risquée de Salomon proposant de couper l’enfant en deux et d’attribuer chaque moitié aux deux mères présumées. Pourtant, la conception (processus cognitif de formulation d’un problème dans son contexte et d’élaboration de solutions possibles) d’un jugement par Salomon apparaît comme un acte raisonné, intelligible, reproductible par un modèle symbolique computable. D’autres jugements, dans le même contexte, seraient également concevables et également équitables, bien qu’aucun d’eux ne soit computable à l’aide d’un Code civil. Le jugement (conception-création d’une solution non initialement programmée) de Salomon est plus “ intelligent ” que le jugement (analyse et mise en correspondance avec une solution déjà en portefeuille) du juge standard (“ le règlement c’est le règlement ”).

En comprenant le processus de conception, et donc en comprenant l’intelligence artificielle ou naturelle, ne nous mettons-nous pas en situation d’apprendre à concevoir et donc d’assumer *le problème du concepteur ? : trouver ce qui n’existe pas, cela s’appelle créer, inventer, construire dans sa tête avant que dans la ruche, concevoir*. L’appel à l’intelligence sur lequel se fonde *La méthode* ⁴³ est aussi un appel à *l’intelligence de la complexité* et donc à *l’intelligence de la conception* ⁴⁴.

39. La formule est d’Edgar Morin, *La méthode*, op. cit., p. 327.

40. En particulier dans son adresse aux directeurs d’Ecoles d’ingénieurs, sous le titre *The Science of Design* (1968). En traduction française, voir *La science des systèmes, science de l’artificiel*, chap. 3, Paris, L’Épi, 1974.

41. On trouvera une intéressante présentation du « paradigme du calcul » dans l’article de P. Levy publié dans J.-L. Le Moigne (dir.), « Intelligence des mécanismes et mécanismes de l’intelligence », *Nouvelle encyclopédie des sciences et des techniques*, Fayard – Fondation Diderot, Paris, 1986. À l’insu de son auteur, me semble-t-il, cet article met en valeur les limites du « paradigme du calcul » et conforte ainsi la pertinence contemporaine du paradigme de la computation symbolique.

42. N’est-ce pas là le projet du tome III de *La méthode : La connaissance de la connaissance* d’Edgar Morin ? On lit par exemple p 187 : « *La conception de la conception* couvre la théorie de la connaissance, l’épistémologie, la logique, la paradigmatique, c’est-à-dire tout ce que va essayer de concevoir de façon articulée la connaissance de la connaissance » (p. 187).

43. « De l’intelligence, encore de l’intelligence », *La méthode*, tome II, p. 445.

44. Intelligence de la conception : titre d’un article publié par la *Nouvelle Encyclopédie Diderot : Intelligence des mécanismes, mécanismes de l’intelligence*, op. cit., qui, par certains de ses développements, complète (et est complété par) la présente étude. Lui fait écho un bel article de Mario Borillo sur l’interprétation cognitive de la création poétique. On peut renvoyer aussi le lecteur attentif à *L’intelligence de la complexité* (1984, UNU ; cf. note 58) et à « Conception de la complexité » et « Complexité de la conception » paru en italien dans G. Bocchi et M. Ceruti (dir.), *La Sfida della*

Si le problème du concepteur est de proposer quelque compréhension de la complexité, il lui faut comprendre assez la conception pour apprendre à concevoir cette inconcevable complexité : construire sans cesse assez de science pour prendre conscience de la complexité⁴⁵. Ce défi auquel passionnément Edgar Morin nous invite nous appelle à l'ascèse de cette réflexion sur l'inconcevable concevoir : devoir, pouvoir, savoir, créer ? Il importe que la réponse soit oui, et qu'elle soit universelle, en raison ; une obstinée raison.

Complessità, Milan, Feltrinelli, 1985 (cf. le chapitre 8 du présent volume). Ce dernier texte a le mérite incident de nous rappeler qu'en italien, conception se dit : « progettazione »... la projection, l'exercice du projet. Le choix du mot «conception» pour traduire l'anglais «Design» ou l'italien « progettazione » nécessite une discussion complémentaire que l'on a commencée dans une postface à l'édition française de l'ouvrage de H. A. Simon qui institue la conception en tant que concept scientifique fondamental (*The science of design*). On a, depuis, proposé de restaurer «les sciences du génie» (que les Canadiens francophones avaient aisément conservé : leurs ancêtres fondaient la Nouvelle France alors que la France accueillait Léonard de Vinci.)

45. Conscience de la complexité ? : peut-on renvoyer le lecteur pensif à quelques textes d'Edgar Morin qui n'ont pas encore eu l'audience que je crois qu'ils méritent : dans *Science et Conscience de la complexité ; échanges avec Edgar Morin*, C. Atias et J.-L. Le Moigne (dir.), éditions de la Librairie de l'Université, Aix-en-Provence, 1984, repris dans « *L'Intelligence de la complexité* » d'E. Morin et J.L. Le Moigne, Ed L'Harmattan, 1999.