

**RESUME : LA DESCRIPTION DE LA COMPLEXITE**  
**LES DESCRIPTIONS DES ETATS ET LES DESCRIPTIONS DES PROCESSUS**  
**H A SIMON**

**NDLR** : Cette incitation au renouvellement de la théorie de la connaissance a suscité ce redéploiement théorique du concept analytique de ‘**Structure de la Connaissance de l’Objet**’ au concept systémique d’**Organisation de la Connaissance du Processus**, enchevêtrement d’interrelations téléofonctionnelles. On peut ainsi récursivement rendre compte de l’enrichissement apporté par cette *réorganisation conceptuelle* à la mise en œuvre des problématisations développées au sein des systèmes perçus dans leur irréductible complexité dès lors que l’on ouvre l’éventail critique des usages de la raison humaine s’exerçant à l’**Intelligence de la Complexité** en situation (un autre nom pour ‘**La Pensée Complexe**’).

Ce type d’exercice avait été expérimenté et interprété **dès 1962 par HA Simon** qui le publia sous le titre ‘*The Architecture of Complexity*’ dans les ‘*Proceedings of the American Philosophical Society*’ (106, p.467-482). On peut aisément le lire aujourd’hui puisque cet article fut repris in-extenso et sans modification en dernier chapitre les éditions successives – de ‘*The Sciences of the Artificial*’ : 1969, chapitre 4 ; 1981 Chapitre 7 ; puis 1996, chapitre 8. Ces trois éditions furent traduites et éditées en français, la dernière dans la collection Folio-Essais - Gallimard.

Le dernier chapitre (N° 8) toujours intitulé *L’Architecture de la Complexité* de cette édition est ainsi aisément accessible aux lecteurs francophones (pp 319-371). Il apparaît alors comme un article de conclusion de « *Les sciences de l’artificiel* » dont on peut ici extraire l’avant dernier § intitulé « **Les descriptions des états et les descriptions des processus** » (6 pages) suivi du Résumé & Conclusion générale intitulé « *La Description de la Complexité* » (2 pages).

Il s’avère possible de mettre ces 8 pages en accès ouvert en le publiant dans la rubrique *Documents* du Site du Réseau Intelligence de la Complexité sous ce titre (avec nos remerciements à l’éditeur), ce qui permet de problématiser plus largement que l’on peut le faire dans cet éditorial, la dialogique des descriptions critiques des Etats et des Processus en interactions permanentes dans les exercices critiques de problématisation en raison ouvrante.

« ... Une circonférence est le lieu géométrique de tous les points équidistants d’un point donné. » « Pour construire une circonférence, tournez un compas, une des pointes restant fixe, jusqu’à ce que l’autre soit revenue à son point de départ. » Il est implicite, d’après Euclide, que si vous mettez en œuvre le processus défini par la deuxième phrase, vous produirez un objet qui satisfera à la définition de la première. La première phrase est une description d’état de la circonférence, la seconde une description de processus.

Ces deux modalités d’appréhension des structures constituent à la fois la chaîne et la trame de notre expérience. Les tableaux, les schémas, bien des diagrammes, les formules des structures chimiques sont des descriptions d’états. Les recettes, les équations différentielles, les équations des réactions chimiques sont des descriptions de processus. Les premières caractérisent le monde tel que nous le percevons ; elles nous donnent un critère pour identifier les objets souvent en modélisant les

objets eux-mêmes. Les secondes caractérisent le monde dans lequel nous agissons. Elles nous donnent les moyens pour produire ou pour engendrer des objets ayant des caractéristiques désirées.

La distinction entre le monde perçu et le monde actionné définit la condition fondamentale de la survie des organismes adaptatifs. L'organisme doit développer des corrélations entre ses buts dans le monde tel qu'il le perçoit et ses actions dans le monde qui lui aussi évolue selon ses processus propres. Lorsqu'elles sont faites consciemment et exprimées, ces corrélations correspondent à ce que nous appelons habituellement 'l'analyse fins-moyens'. Étant donné un état désiré et un état existant, la mission d'un organisme adaptatif est de trouver le processus associé qui réduise cette différence<sup>1</sup>.

C'est ainsi que la résolution des problèmes demande un transfert permanent des descriptions d'état aux descriptions de processus au sein d'une même réalité complexe.

Platon dans son *Menon* prétend que tout apprentissage est fait de souvenirs. Il ne pouvait pas expliquer autrement comment nous découvrons ou reconnaissons la solution d'un problème à moins que nous ne connaissions déjà la réponse<sup>2</sup>. La dualité de notre relation au monde est la source et la solution de ce paradoxe. Nous posons un problème en donnant une description d'état de sa solution. Notre tâche consiste à découvrir une séquence de processus qui produise l'état désiré à partir de l'état initial. Une traduction de la description de processus en description d'état nous permet de nous apercevoir de notre réussite. La solution est alors véritablement nouvelle pour nous, et nous n'avons pas besoin de la théorie du souvenir de Platon pour expliquer comment nous la reconnaissons.

Nous disposons maintenant d'un ensemble croissant de preuves indiquant que l'activité humaine appelée raisonnement est pour l'essentiel une analyse par 'fins-moyens', visant à découvrir une description de processus dont l'itinéraire conduise au but recherché. Le paradigme général en est : Etant donné un schéma projeté, trouver la recette qui y conduise. La plupart des activités scientifiques sont des applications de ce paradigme : Etant donné la description de quelque phénomène naturel, trouver le système d'équations différentielles qui représente le processus produisant ce phénomène.

### **La description de la complexité dans les systèmes auto-reproductifs**

Le problème de la recherche de descriptions relativement simples de systèmes complexes n'intéresse pas seulement notre compréhension de la connaissance humaine du monde, mais aussi

---

<sup>1</sup> Voir H.A. Simon et A. Newell, « Simulation of Human thinking », in M. Greenberger (ed.), *Management and the Computer of the Future* (Wiley, New York, 1962), pp. 95-114 et plus spécialement p. 110.

<sup>2</sup> The Works of Plato, B. Jowett, traducteur (Dial Press, New York, 1936), vol. 3, pp. 26-35. Voir H.A. Simon, « Bradie on Polanyi on the Meno Paradox », *Philosophy of Science*, 43 (1976), p. 147-150.\*

\* NdT. : Une édition française classique du 'Ménon' dans : Platon, *Œuvres Complètes, tome 1*, Gallimard, Édition de la Pléiade, (1959, 513-557). L'article sur « Le Paradoxe du Ménon » qu'évoque H Simon est repris dans « *Models of Discovery* », 1977, ch.5.5 : « Discussion : the Meno Paradox ». Cet article fut traduit en français par D. Sperber et publié dans Monique Canto-Sperber (ed.), « *Les paradoxes de la connaissance, essai sur le Menon de Platon* » ed. O. Jacob, 1991, p. 329-333. J'en ai proposé une interprétation dans « *Sur un exceptionnel manifeste épistémologique : "Symbols and Search". Merveilleuse et pourtant compréhensible est la computation (le traitement) heuristique des systèmes de symboles physiques* » dans *La Revue d'Intelligence Artificielle, N° spécial en hommage à H.A. Simon, 2002. (Représentations, découvertes et rationalité)*, sous la direction de Jacques Pitrat, Ed Hermès-Lavoisier. RSTI, série RIA, vol 16- n° 1-2/2002, p. 251-268

l'explication de l'auto-reproduction d'un système complexe. Dans ma discussion de l'évolution des systèmes complexes, je n'avais fait qu'effleurer brièvement le rôle de l'auto-reproduction.

Les atomes de grande masse atomique et les molécules non-organiques complexes témoignent du fait que l'évolution de la complexité n'implique pas l'auto-reproduction. Si l'évolution de la complexité à partir de la simplicité est suffisamment probable, elle se poursuivra reprise après reprise. L'équilibre statistique du système ne sera atteint que lorsqu'une large part des particules élémentaires participeront au système complexe.

Cependant si l'existence d'une forme complexe particulière augmente la probabilité de création d'une autre forme comparable, l'équilibre entre les complexes et leurs composants sera affecté en direction de la première forme. Si nous disposons d'une description d'un objet qui soit suffisamment claire et complète, nous pouvons reproduire cet objet à partir de sa description. Quel que soit le mécanisme exact de cette reproduction, la description nous apporte l'information nécessaire.

Nous avons vu que les descriptions des systèmes complexes pouvaient prendre des formes très nombreuses. Nous avons en particulier distingué les descriptions d'état des descriptions de processus, les schémas des recettes. Les processus de reproduction peuvent être établis à l'aide de l'une ou l'autre de ces sources d'information. La possibilité la plus simple est sans doute que le système complexe serve lui-même à sa propre description – un moulage à partir duquel on peut établir une copie. Une des théories en cours les plus plausibles concernant la reproduction de l'acide dioxynucléique (A.D.N.), suggère que la molécule d'A.D.N. ait la forme d'une double hélice d'éléments complémentaires (chacune d'elles étant en quelque sorte le « négatif » de l'autre), se déroulant pour permettre à chaque moitié de l'hélice de servir de moule sur lequel un nouvel élément complémentaire pourra se former.

Par ailleurs, notre connaissance actuelle de la façon dont l'A.D.N. contrôle le métabolisme de l'organisme conduit à penser que cette reproduction par moulage n'est pas le seul des processus mis en jeu. Si l'on en croit la théorie en cours, l'A.D.N. sert de moule à la fois pour lui-même et pour une molécule qui lui est associée, l'acide ribonucléique (A.R.N.). L'A.R.N., à son tour sert de moule pour les protéines. Mais les protéines – toujours selon nos connaissances actuelles – ne guident pas le métabolisme de l'organisme par la méthode du moulage, mais en intervenant comme catalyseur régissant les vitesses de réaction de la cellule. Alors que l'A.R.N. est un schéma pour la protéine, la protéine est une recette pour le métabolisme<sup>3</sup>.

### **L'ontogenèse récapitule la phylogenèse**

L'A.D.N. contenu dans le chromosome d'un organisme contient une partie, et peut-être la plus grande partie des informations nécessaires à la détermination de son développement et de ses activités. Même si les théories actuelles ne sont qu'approximativement correctes, nous avons vu que l'information ainsi enregistrée n'est pas une description d'état de l'organisme, mais une série

---

<sup>3</sup> C.B. Anfinsen, *The Molecular Basis of Evolution* (Wiley, New York, 1959), chapitres III et X, complétera ce résumé rapide et simplificateur. On pourra consulter H.H. Pattee « On the Origin of Macro-molecular Sequences », *Biophysical Journal*, 1, 1961, pp. 683-670, pour une discussion pleine d'imagination des mécanismes de description de processus qui gouvernent la structure moléculaire.

« d'instructions » pour la construction et l'entretien de cet organisme à partir de ses matériaux constitutifs. J'ai précédemment comparé cette série à une recette ; j'aurais pu tout aussi bien la comparer à un programme d'ordinateur, puisque celui-ci est également une séquence d'instructions guidant la structuration de symboles. Il me faut souligner quelques conséquences de cette dernière comparaison.

Si le matériel génétique – considéré dans ses relations avec l'organisme – est un programme, c'est un programme d'un genre assez particulier. Tout d'abord, c'est un programme auto-reproductible ; nous avons déjà examiné les mécanismes de recopiage qu'il peut mettre en œuvre. C'est ensuite un programme qui s'est développé au cours d'une évolution darwinienne. Sur la base de notre argument de la parabole des deux horlogers, nous pouvons présumer que nombre de ses ancêtres étaient eux aussi des programmes viables – des programmes de construction par assemblages intermédiaires.

Pouvons-nous conjecturer plus avant la structure de ce programme ? Il est, en biologie, une généralisation bien connue, dont l'énoncé est si élégant que nous hésiterions à ne pas la citer même si les faits ne la justifiaient pas : l'ontogenèse récapitule la phylogenèse. L'organisme individuel, dans ses développements, progresse par des étapes qui ressemblent à certaines de ses formes ancestrales. Le fait par exemple, que l'embryon humain développe des ouïes puis les modifie dans d'autres buts est une de ces particularités familières qui autorisent les généralisations.

Les biologistes aujourd'hui préfèrent insister sur les spécificités de ce principe – l'ontogenèse ne récapitulant plus que les aspects les plus globaux de la phylogenèse, et encore fort grossièrement.

Ces spécifications ne doivent pas nous faire perdre de vue le fait que la généralisation constitue une première approximation. Elle résume un ensemble très significatif de faits sur le développement de l'organisme. Comment pouvons-nous interpréter ces faits ?

Une des façons de résoudre un problème complexe consiste à le réduire à un problème précédemment résolu – à montrer quelles sont les étapes qui conduisent d'une solution antérieure à la solution du nouveau problème. Si, au début de ce siècle, nous avions souhaité apprendre à un ouvrier comment faire une automobile, la façon la plus simple aurait peut-être été de lui dire comment modifier un chariot en enlevant le timon et en ajoutant le moteur et la transmission. De même un programme génétique peut être altéré au cours d'une évolution par l'addition d'un nouveau processus qui modifiera une forme plus simple en une forme plus complexe. Pour construire une gastrula, prenez une *blastula*<sup>4</sup> et modifiez-la !

La description génétique d'une cellule simple peut de ce fait prendre une forme assez différente de la description génétique de cellules assemblées en un organisme multicellulaire. La multiplication par division de la cellule demanderait au minimum une description d'état (disons l'A.D.N.) et un simple « interpréteur » – pour reprendre un terme du langage informatique – qui copie cette description comme s'il était une partie du processus plus général de duplication de la division cellulaire. Mais,

---

<sup>4</sup> N.d.T. : Allusion que peut éclairer l'extrait suivant d'un article de J. Brachet « Embryologie moléculaire et différenciation cellulaire » dans *La Recherche*, n° 30, janv. 1973, p. 95 : « La gastrulation est un processus complexe qui transforme la blastula en une larve encore indifférenciée (la gastrula), mais qui possède déjà les trois couches cellulaires dont tous les organes de l'adulte proviennent (ectoderme, mésoderme, endoderme). En gros, l'ectoderme donnera naissance à la peau et au système nerveux, le chloromesoderme donnera la chorde, les muscles, le squelette, les reins, les globules rouges ; l'intestin, le foie, le pancréas se différencient aux dépens de l'endoderme. »

manifestement, un tel mécanisme ne suffirait pas à provoquer la différenciation des cellules lors de leurs développements. Une autre conceptualisation de ce mécanisme s'avère alors plus naturelle : en le basant sur la description d'un processus, un processus d'interprétation passablement plus complexe, celui qui produit l'organisme adulte en une série d'étapes, chaque étape nouvelle de ce développement résultant de l'effet d'un opérateur sur l'étape précédente.

Il est plus difficile de conceptualiser les inter-relations de ces deux descriptions. Et pourtant elles doivent être reliées. Nous en savons assez sur les mécanismes de formation des gènes et des enzymes pour conclure que cette relation joue un rôle majeur dans le développement comme dans le métabolisme de la cellule. La seule indication que nous donne notre analyse antérieure est que la description elle-même aura sans doute une structure arborescente, quasi décomposable, les niveaux inférieurs régissant la dynamique rapide, à « haute fréquence », des cellules individuelles, les interactions de haut niveau régissant la dynamique lente, à « basse fréquence » du développement de l'organisme multicellulaire.

En dehors des faits de la récapitulation, il n'y a que peu de preuves que le programme génétique soit organisé de cette façon, mais les preuves qui existent sont compatibles avec cette notion<sup>5</sup>. Dans la mesure où nous pouvons différencier l'information génétique qui gouverne le métabolisme de la cellule de l'information génétique qui gouverne le développement de cellules différenciées dans une organisation multicellulaire, nous simplifions énormément – comme nous l'avons déjà observé – notre description théorique. Mais j'ai sans doute poussé ces spéculations assez loin.

Cette généralisation qui nous autorise à présumer que l'ontogenèse récapitule partiellement la phylogenèse dans les systèmes en évolution dont les descriptions sont mémorisées selon un processus codé, a des applications dans d'autres domaines que celui de la biologie. Elle peut être appliquée par exemple à la transmission de la connaissance dans le processus éducatif. Dans la plupart des domaines, et en particulier dans les sciences en progression rapide, la progression des cours élémentaires aux cours supérieurs est, dans une large mesure, une progression à travers l'histoire conceptuelle de la science elle-même. Heureusement la récapitulation est rarement littérale – pas plus qu'elle ne l'est dans le cas de la biologie. Nous n'enseignons pas la théorie du phlogiston en chimie en vue de la corriger ultérieurement. (Je ne suis pas certain de ne pas être à même de citer des exemples dans d'autres disciplines où c'est pourtant exactement ce que nous faisons.) Mais les révisions de programmes qui nous débarrassent des accumulations du passé sont rares et douloureuses. Elles ne sont pas non plus toujours souhaitables, les récapitulations partielles pouvant, dans bien des cas, s'avérer être l'itinéraire le plus expéditif pour progresser dans la connaissance.

---

<sup>5</sup> Il y a des preuves nombreuses que les gènes successifs au sein d'un chromosome déterminent souvent les enzymes qui contrôlent les étapes successives de la synthèse des protéines. Pour un examen de certaines de ces preuves, voir P.E. Hartmann, « Transduction : a comparative Review », in W.D. McElroy et B. Glass (éd.), *The Chemical Basis of Heredity* (John Hopkins Press, Baltimore, 1957), pp. 442-454. Les preuves de l'activité différentielle des gènes dans les différents tissus et aux différentes étapes du développement sont discutées par J.G. Gall, « Chromosomal Differentiation », dans W.D. McElroy et B. Glass (éd.), *The Chemical Basis of Development* (John Hopkins Press, Baltimore, 1958), pp. 103-135. Enfin un modèle très comparable à celui que l'on propose ici a été présenté par J.R. Platt indépendamment et de façon bien plus approfondie : « A "Book Modes" of Genetic Information Transfer in Cells and Tissues » dans M. Kasha et B. Pullman (éd.), *Horizons in Biochemistry* (Academic Press, New York). Ce type de mécanisme n'est bien sûr pas le seul par lequel un développement soit contrôlé par une description de processus. L'induction, dans la forme envisagée par la théorie des organismes de Spemann est basée sur une description de processus dans lequel les métabolites des tissus déjà formés contrôlent les étapes ultérieures du développement.

## **RESUME : LA DESCRIPTION DE LA COMPLEXITE**

Il dépend essentiellement de la façon dont nous la décrivons qu'une structure soit simple ou complexe. La plupart des structures complexes existant dans le monde sont extrêmement redondantes et nous pouvons utiliser cette redondance pour simplifier leur description. Mais pour l'utiliser et donc pour réussir la simplification nous devons découvrir la bonne représentation.

**L'idée consistant à substituer une description de processus à une description d'état a joué un rôle central dans le développement de la science moderne.** Les lois de la dynamique, exprimées sous la forme de systèmes d'équations différentielles ou d'équations aux différences, ont, dans un grand nombre de cas, apporté l'indication clef permettant une description simple d'un phénomène complexe. J'ai essayé de montrer dans les paragraphes précédents que cette caractéristique de la recherche scientifique n'est ni accidentelle ni superficielle. La corrélation entre la description d'état et la description de processus est à la base du fonctionnement de tout organisme adaptatif et de sa capacité à agir de façon significative sur son environnement. Notre compréhension actuelle des mécanismes génétiques suggère que même lorsqu'il se décrit lui-même, l'organisme multicellulaire découvre une description de processus – un code génétique programmé – qui s'avère être une représentation économique et utile.

## **CONCLUSION**

Nos spéculations nous ont conduits à examiner un nombre presque inquiétant de domaines, mais c'est le prix que nous devons payer si nous voulons rechercher les propriétés communes à de nombreux types de systèmes complexes. Ma thèse a été qu'un chemin vers la construction d'une théorie des systèmes complexe digne de ce nom passait par une théorie de l'arborescence. Empiriquement, une grande proportion des systèmes complexes que nous observons dans la nature révèle une structure arborescente. Une analyse théorique nous permet de prévoir que les systèmes complexes seront arborescents dans un univers au sein duquel la complexité émerge de la simplicité. Dans leur dynamique, les arborescences ont une propriété, la quasi-décomposabilité, qui simplifie grandement l'analyse de leur comportement. La quasi-décomposabilité simplifie aussi la description d'un système complexe et permet plus facilement de comprendre comment les informations nécessaires au développement ou à la reproduction du système peuvent être stockées dans des limites raisonnables.

Tant en science qu'en ingénierie, l'étude des « systèmes » devient une activité de plus en plus en vogue. Sa popularité traduit plus une réponse à un besoin pressant de synthèse et d'analyse de la complexité que le développement d'un corps de connaissances et de techniques permettant d'affronter la complexité. Si cette popularité doit être plus qu'une mode passagère, la nécessité sera la mère de l'invention et nous fournira matière pour aller plus avant sous ce nom. Les quelques chemins que nous venons d'explorer montrent une des directions possibles pour une telle entreprise. »

\*\_\*\_\*\_\*\_\*\_\*\_\*