



Les Cahiers Jules VERNE

Collection coordonnée par Jacques ARNOL STEPHAN

« Tout ce qui a été fait de grand dans ce monde a été fait au nom d'espérances exagérées.

Tout ce qu'un homme est capable d'imaginer, d'autres hommes sont capables de le réaliser. »

Jules VERNE, né à Nantes le 8 février 1828

N ° 1 : Deux approches de la complexité

A partir des deux ouvrages suivants :

Les systèmes complexes – Mathématiques et biologie
par Hervé P. Zwirn – Editions Odile Jacob – octobre 2006

Simplicité profonde – Le chaos, la complexité et l'émergence de la vie
par John Gribbin – Editions Flammarion - octobre 2006

Synthèse réalisée par Jacques ARNOL STEPHAN

Institut de Locarn – Kerhunou – 22340 LOCARN

Tél : 02.96.57.42.42 – Fax : 02.96.36.63.86

e.mail : administration@institut-locarn.com

Executive summary

Nota : pour le lecteur à court de temps, voici un résumé succinct de ce cahier

Complexité ... ou simplicité profonde ?

Pour John Gribbin, les “sciences de la complexité” sont avant tout une nouvelle étape dans la recherche d’une explication simple de notre monde. Gribbin retrace l’évolution des modèles scientifiques, de Galilée à Kauffman et Bak, en passant par Newton, Maxwell, Clausius, Poincaré, Turing et tant d’autres. Il montre comment, par évolutions successives, nos modèles se révèlent de plus en plus capables de représenter la complexité des comportements observés dans le monde réel. Paradoxe final : Jim Lovelock, à travers le concept Gaïa, propose une explication globale du vivant, “profondément simple”.

Complexe n’est pas compliqué

Un système complexe n’est pas forcément compliqué. Des règles très simples peuvent donner naissance à des comportements très complexes, tel par exemple le vol des oiseaux migrateurs dans sa capacité à éviter les obstacles. Ce qui rend un système complexe, ce n’est donc pas le fait que les règles utilisées pour le décrire sont compliquées, mais c’est la multiplicité des interactions. Ces interactions conduisent à quatre caractéristiques essentielles des systèmes complexes :

- ↳ Le tout est différent de la somme des parties,
- ↳ Certaines propriétés du système “émergent” à un niveau ou un moment donné sans qu’il soit possible de les prédire,
- ↳ Les systèmes les plus complexes sont capables de se modifier pour s’adapter à leur environnement,
- ↳ Sur le long terme, lorsqu’on observe des générations successives du même type de systèmes complexes, on constate une sélection des mieux adaptés.

L’ordre et le chaos

Un des éléments les plus étonnant qu’a révélé l’étude des systèmes complexes, c’est que le chaos peut “scientifiquement” naître de l’application répétée de règles simples. L’effet papillon mis en évidence par Edward Lorenz montre ainsi que certains systèmes sont tellement sensibles aux conditions initiales qu’il est impossible d’obtenir un comportement répétitif dans la durée, alors même que leur fonctionnement est parfaitement déterministe. L’équation logistique, très simple dans sa forme, peut quant à elle donner naissance, selon la valeur d’un paramètre, à un comportement totalement chaotique. Les réseaux booléens illustrent également d’une façon saisissant comment les règles très simples de l’algèbre booléenne (ET, OU, etc.) peuvent donner naissance à des comportements à la fois totalement imprévisibles et d’apparence entièrement chaotique.

A l’inverse, l’ordre peut naître “spontanément” dans des systèmes apparemment chaotiques. Là encore, les réseaux booléens illustrent clairement cet “ordre gratuit”, qui ne résulte pas d’une construction rigoureuse et prédéterminée, mais de la dynamique du système elle-même. Le “jeu de la vie de Conway”, le “jeu du Chaos”, ou les fractales, que l’on peut rencontrer dans la nature, en sont d’autres illustrations.

Les études les plus récentes tendent à montrer que c’est à la frontière entre l’ordre et le chaos que se passent les phénomènes les plus intéressants et que c’est vers cette zone que tendent les systèmes complexes, comme si, selon les mots de Stuart Kauffman “... *une position dans le régime ordonné proche de la transition vers le chaos apportait le meilleur équilibre de stabilité et de flexibilité*”.

Evolution, adaptation, changements ...

Les “sciences de la complexité” ont permis de mettre à jour des modèles pertinents pour étudier l’évolution. Le modèle du “paysage d’adaptation”, qui représente l’évolution

comme une marche dans un paysage fait de collines plus ou moins hautes et de vallées plus ou moins profondes, est un outil extrêmement précieux pour comprendre comment des espèces vivantes (ou “presque“, comme par exemple les organisations) évoluent, s’adaptent, et sont parfois piégées sur des “pics locaux” où leur évolution reste bloquée.

Ces différents modèles, alliés aux enseignements des réseaux booléens, ont permis également d’enrichir les découvertes de Darwin. Ils permettent de mieux comprendre la co-évolution de systèmes complexes qui interagissent au sein du même écosystème, d’émettre de nouvelles hypothèses quant aux périodes de disparitions massives d’espèces qui ont jalonné l’évolution, de proposer également des approches plausibles pour expliquer comment l’homme a pu émerger au milieu de centaines de milliards de possibilités.

La “criticalité auto organisée”, observée à partir de l’étude des tailles d’avalanches provoquée par l’ajout continu de grains de sables sur un tas, conduit, elle, à remettre en cause très profondément l’idée que “les grandes causes produisent de grands effets”. Plus généralement, la répartition statistique de nombreux phénomènes, naturels ou non, selon des “lois de puissance” et non selon la répartition gaussienne familière aux qualitatifs, ouvre des perspectives nouvelles à la compréhension des crises ou des pannes en apparence aléatoires. Et ce n’est pas le moindre étonnement de constater que les répartitions des séismes en fonction de leur magnitude, des feux de forêt en fonction de leur ampleur ... ou des sites Internet en fonction de leur fréquentation répondent au même type de lois !

Des applications très concrètes pour l’entreprise

Au-delà de leurs applications immédiates dans les domaines de la santé (thérapies géniques), des biotechnologies ou de l’intelligence artificielle, les “sciences de la complexité“ ont généré de multiples applications concrètes pour le monde de l’entreprise. Cela va des réseaux de neurones, qui peuvent être appliqués dans des domaines aussi variés que la qualité industrielle, la sécurité, la finance, l’environnement, etc., aux algorithmes d’optimisation dits “génétiques” parce qu’ils modélisent ce que nous avons compris du fonctionnement de nos chromosomes, en passant par des simulations à base d’agents coopérants ou par des programmes qui émulent le comportement des fourmis ou des abeilles ! Et bien sûr, dans notre monde de plus en plus interconnecté, les leçons tirées de la topologie des réseaux ont leurs applications immédiates, tant sur Internet que dans les réseaux d’entreprise.

Ces approches nouvelles permettent de résoudre des problèmes jusqu’alors jugés trop complexes pour pouvoir être traités de façon rationnelle. Elles sont surtout porteuses d’une grande leçon : c’est en abrogeant les frontières entre les disciplines que nous pouvons comprendre le monde dans toute sa complexité. Ainsi, les modèles utilisés en biologie peuvent se révéler très pertinents pour comprendre l’économie, ou les études d’un météorologue comme Lorenz ouvrir à la compréhension des effets parfois disproportionnés de toutes petites variations. De tels “détournements” se révèlent aussi très efficaces pour ce qui concerne le pilotage d’une entreprise, système complexe connecté à d’autres systèmes complexes.

Une nouvelle façon de lire le monde

Les sciences de la complexité nous ont permis de modéliser de mieux en mieux, à défaut de toujours “comprendre”, le monde dans lequel nous vivons. Elle nous obligent aussi à repenser notre façon d’agir dans et sur ce monde. Si les effets de nos actions peuvent être imprévisibles, comme l’ont montré Lorenz, Bak ou Kauffman, ne devons-nous pas alors développer d’autres modèles de pensée, mieux adaptés à cette nouvelle appréhension de la complexité que ne l’est notre approche analytique héritée de Descartes et de ces prédécesseurs.