

Extrait du Jean Staune

<http://www.staune.fr>

# Une cellule est bien plus complexe qu'un Boeing 747. Le soleil, lui, est simplement compliqué.



de l'évolution -  
Date de mise en ligne : vendredi 18 mai 2007

---

Jean Staune

---

## Une cellule est bien plus complexe qu'un Boeing 747. Le soleil, lui, est simplement compliqué.

**Marcel Schutzenberger** est mathématicien il a été élu à l'Académie des sciences pour ses travaux en informatique théorique. Ses recherches l'ont amené à publier divers articles en linguistique (notamment avec Noam Chomsky ; Zellig Harris et Maurice Gross) et à étudier avec Pierre Gavaudan les aspects formels et statistiques du code génétique. Il fut l'un des protagonistes du débat du Wistar' Institute mathematical challenges to the neodarwinian theory of evolution.

La complexité est un thème à la mode. On voit s'y référer des scientifiques de diverses disciplines. Mais chacun met ce qu'il veut. En quoi cette notion peut-elle intéresser le grand public ?

Je crois qu'il faut distinguer nettement entre la complexité et la complication. Certaines structures sont extrêmement compliquées à décrire. Pour autant elles ne sont pas complexes. Je crois qu'il faut réserver le mot complexité pour décrire des processus du genre de ceux qu'on observe dans un organisme qui, à partir de l'œuf aboutit après son existence à donner des descendants. Ce phénomène est complexe en ce sens qu'à chaque instant il faut qu'un ensemble d'interactions s'ordonne de façon assez précise pour que le but soit atteint.

Est-ce à dire que vous réservez la notion de complexité au monde du vivant ?

Et à certains de ses prolongements. Ainsi des mécanismes conçus par l'homme. Un gros avion ou un ordinateur me paraît beaucoup plus complexe. Par exemple, que des phénomènes naturels très compliqués. comme la circulation des eaux dans les océans ou encore le soleil. Je ne vois pas de principe qui permettrait de déclarer ces phénomènes complexes. Dans un avion ou un ordinateur, il faut que chacune des parties fonctionne en conformité avec le but général de la machine.

Autrement dit, la complexité intervient à partir du moment où il y a but, organisation vers quelque chose ?

Je ne suis pas absolument sûr qu'on ait besoin de la notion de but, mais on peut l'employer par commodité. Pour qu'il y ait complexité, il faut un processus, un point de départ et un point d'arrivée. Et il faut, ce qui est un peu plus difficile à faire comprendre. que ce processus soit le lieu. d'une très grande richesse de perturbations spécifiques. qui doivent elles-mêmes être corrigées de façon très spécifique. Voyez le jeu d'échecs. C'est un jeu infiniment complexe en ce sens que quand un joueur développe une certaine stratégie, que son adversaire intervient pour essayer de bloquer cette stratégie il faut que le joueur élabore une contre-attaque sans laquelle son projet s'effondrerait complètement. Or la multiplicité des attaques possibles est quasiment imprévisible. C'est cette richesse d'interactions indispensables qui me paraît être la marque de la complexité. De même un organisme vivant doit se nourrir, résister au froid, à mille agressions. Chacune de ces actions implique quantité d'interactions : éviter d'être mangé, chercher de la nourriture. sont aussi des activités qui nécessitent des détours, des sous-programmes. Survivre exige la mise en Suvre d'activités extrêmement complexes.

Si l'un des deux joueurs d'échecs est un ordinateur, est-ce que le degré de la complexité de la partie baisse ?

L'ordinateur est une machine complexe à laquelle on peut faire faire des choses compliquées. L'ordinateur ne fait rien de complexe. Aux échecs, il essaie de jouer au mieux par rapport à tout ce qui peut se passer cinq ou six coups à l'avance. Dans cette optique, son programme lui impose de faire tout ce qui peut lui assurer un petit gain local. Pas davantage. Il se trouve que cette stratégie suffit pour écraser la plu part des gens qui jouent aux échecs. Mais l'homme, lui, ne joue pas comme ça. Il fait des détours, emprunte des raccourcis... Et si demain le champion du monde se fait battre par un ordinateur, cela ne changera rien au problème : le jeu de l'ordinateur est compliqué, celui de l'homme est complexe.

## Une cellule est bien plus complexe qu'un Boeing 747. Le soleil, lui, est simplement compliqué.

Qu'y a-t-il de plus complexe dans l'univers ? Le cerveau de l'homme ?

Je ne m'aventurerais pas sur ce terrain. Ce que je constate, c'est qu'il y a des phénomènes qui relèvent de la psychologie et qui sont d'une complexité telle qu'on ne peut pas les simuler par des mécanismes simplistes -ou, si l'on préfère, compliqués. Exemple : le fait qu'on puisse apprendre sans grande difficulté à un enfant à lire, à reconnaître les lettres. Cela semble quelque chose de très simple. Mais ce doit être un phénomène extrêmement complexe. Aucun ordinateur n'est capable de le faire. Pour les lettres écrites à la main, c'est un échec quasi total. Prenez quelque chose de sensiblement plus compliqué : reconnaître un visage. Une activité qu'un petit humain fait à un âge très précoce, de manière quasi instantanée. Il est hors de question de faire accomplir ce travail par un ordinateur.

Quand commence la complexité ? Avec les premiers êtres vivants ?

On sait seulement qu'à partir d'un certain moment sont apparues des cellules. Or une cellule est déjà un objet d'une complexité fabuleuse. Il y a une très belle page de Denton, où il essaie de rendre sensible la complexité de la cellule [1]. Il dit : supposons qu'on prenne une cellule et qu'on multiplie ses dimensions de façon que son diamètre soit celui de la ville de Paris. Essayons de nous représenter la chose. Les atomes seraient gros comme des cerises ou des oranges. Ce serait une gigantesque usine chimique, d'une complexité incroyable, Avec des centaines de milliers de canaux qui se croisent et se connectent les uns les autres. On verrait se dérouler de façon interactive la synthèse d'au moins une dizaine de milliers de substances chimiques.

Une usine miniature ?

Et beaucoup plus. Nous saurions réaliser chacune de ces synthèses dans un tube à essai, mais il faut encore qu'elles ne se mélangent pas entre elles, et se fassent dans un certain ordre, comme sur une chaîne d'assemblage. Or il faut un millier de chaînes d'assemblage des produits, et en même temps un millier de chaînes d'assemblage des machines-outils qui fabriqueront les produits. Il faut aussi que l'usine travaille vite, puisque le cycle complet de la cellule, dans de bonnes conditions, ne va pas durer plus de trente à quarante minutes. En plus, il y a des substances qui rentrent, d'autres qui sont éjectées vers l'extérieur. Il y a de gros transports de matière. Et puis, quand la cellule va se diviser, on va voir les chromosomes se réunir, se dupliquer, se séparer, partir chacun à l'un des pôles de la cellule... Donc en même temps, cette usine est en perpétuel déménagement. Et dès que vous commencez à interagir de l'extérieur avec la cellule, il se passe des choses très curieuses. Après certaines des interactions, la cellule est tuée, mais après d'autres, au contraire, l'usine se transforme, la cellule poursuit une autre activité avec un autre mode de fonctionnement. La cellule est pour moi le prototype de la complexité.

Quelle est votre conception de l'origine d'une telle complexité ?

Je n'en ai pas. Personne ne peut concevoir comment une usine automatique de ce type a pu être mise en place. On n'a pas idée des intermédiaires qui auraient pu exister entre la matière dite inerte et cette intégration de millions de réactions chimiques, dont il suffirait de bloquer une dizaine pour que rien ne fonctionne plus. Et pourtant, il y a des types de cellules extrêmement divers. Il y a certainement eu une évolution, mais comment s'est-elle produite ? Comment la transition a-t-elle pu se faire, par exemple, entre les cellules sans noyau et les cellules avec noyau ? On ne le sait pas.

La cellule ne représente pourtant, dans la nature, qu'un premier niveau de complexité. Comment passe-t-on aux autres niveaux ?

Nous ne le savons pas. Le deuxième niveau, c'est le développement de l'embryon et le passage à l'individu adulte.

## Une cellule est bien plus complexe qu'un Boeing 747. Le soleil, lui, est simplement compliqué.

Supposons qu'on donne à notre énorme usine chimique un embryon à fabriquer. Alors 1à, nous sommes dans une ignorance totale.

L'Suf fécondé va se diviser en d'autres cellules. Certaines de ces cellules vont devenir complètement différentes des autres, elles vont migrer, des tissus vont se constituer et de nouveau il va se produire des phénomènes tout à fait extraordinaires. Dans certains cas, vous pouvez supprimer la moitié de l'embryon et puis ce qui reste va simplement se dupliquer et restituer l'original. Dans d'autres cas, au contraire, c'est fini. On ne sait pas du tout pourquoi. On sait classer les phénomènes, les décrire, on a réalisé des expériences très ingénieuses, mais chaque fois qu'on approfondit, chaque fois que de nouvelles techniques permettent d'analyser les processus plus en détail, on s'aperçoit que c'est plus complexe que ce qu'on imaginait. Cela paraît indéfiniment complexe.

Voyez-vous un troisième niveau ?

Une fois l'organisme constitué, il va falloir qu'il réagisse au monde extérieur, de manière à lui persurvivre. C'est le troisième niveau. Et curieusement, c'est un chapitre complètement gommé dans la théorie de l'évolution. Je m'étonne, en tout cas, qu'il soit si rarement discuté. En général, les livres sur la théorie de l'évolution le règlent en trois phrases, ils disent que progressivement, par des modifications successives, graduellement, les organismes ont enregistré dans leurs chromosomes la mémoire de l'espèce, c'est-à-dire les informations qui font que leur système nerveux aura les propriétés leur permettant d'interagir de façon adéquate avec le monde extérieur. C'est vite dit.

Donnez un exemple.

Prenez un insecte qui se métamorphose, le capricorne. Le capricorne passe les trois quarts de sa vie à l'état de larve dans un tronc d'arbre. Il mange le bois. A un certain moment, il se prépare à sortir. Il tourne alors à 90 degrés et s'approche de la surface du tronc. Il fait un trou et le bouche avec une cloison qu'il a fabriquée avec le calcium qu'il a accumulé en mangeant du bois dans une poche de son estomac. A ce moment-là, il se retourne. et puis s'endort. Et il subit une modification complète de son anatomie. Les tissus semblent fondre. Et il devient un individu adulte, complètement différent. Il n'a pas de difficulté à percer la cloison parce qu'il a maintenant des cornes. Il sort et va passer une saison à voltiger. Après quoi, la femelle ira pondre des Sufs en faisant un trou avec une tarière dans un tronc d'arbre, les Sufs se transformeront en larves etc. Si nous croyons le schéma habituellement présenté, il faut donc que le système nerveux soit programmé pour réaliser toutes ces opérations successives qui se déclenchent les unes après les autres. Mais l'animal ne sera sélectionné que sur le résultat final, c'est-à-dire après sa transformation qui est un remodelage complet de son système nerveux. Le programme par lequel agit la larve est conçu pour permettre aux autres programmes, ceux de l'animal adulte de se déclencher ultérieurement. Je conçois très difficilement comment un mécanisme d'une telle complexité puisse être « graduellement » sélectionné comme le pensent les darwiniens orthodoxes.

On voit bien la complexité dans tout cela, mais moins bien en quoi c'est un argument contre l'idée que l'évolution s'est faite petit à petit, de façon graduelle.

Par complexité, nous avons défini un système intégré dans lequel chacune des parties joue un rôle souvent essentiel dans le tout. Cela signifie que vous ne pouvez pas modifier une partie sans en modifier beaucoup d'autres. Un exemple simple de système complexe, c'est l'horloge. Si vous modifiez un tant soit peu l'un des rouages d'une montre, vous n'avez pas une montre qui marche mal, vous n'avez plus de montre du tout. Il est à peu près impossible de passer d'un type de montre à un autre type de montre par des modifications locales. J'insiste sur le mot local. C'est l'ensemble du système qui est affecté. Si vous remplacez un pignon par un autre, il faut multiplier ou diviser le nombre des dents du pignon avec lequel il s'engrène, etc. Il y a toute une série de transformations en chaîne. Une transformation locale ne fera que détruire l'objet. De même. il suffit de supprimer quelques gènes, parfois un seul gène, pour que l'organisme cesse d'exister.

## Une cellule est bien plus complexe qu'un Boeing 747. Le soleil, lui, est simplement compliqué.

En même temps, il y a beaucoup d'espèces très voisines les unes des autres, qui ne paraissent justement séparées que par de petites différences.

Un grand chien et un petit chien d'une autre race, même s'ils paraissent très différents ne se distinguent en effet, d'un point de vue biologique que par de petites modifications locales. Mais si vous considérez l'ensemble des êtres vivants, ce n'est pas le cas général. Voyez le problème de l'origine des plumes. Nous sommes incapables de concevoir quelque chose de préalable à la plume et qui aurait présenté le moindre avantage, avant d'être une plume permettant de voler. Si vous prenez l'exemple des métamorphoses chez les insectes, on ne voit absolument pas quels auraient pu être les intermédiaires entre une espèce d'insecte indifférenciée et cette réalité infiniment complexe qu'est un papillon - avec cette énorme quantité de détails physiologiques qui lui sont propres, et sans lesquels il ne serait pas papillon du tout.

Ce que vous dites, c'est que la théorie darwinienne ne rend pas compte de la complexité du monde vivant.

La plupart des gens qui prêchent le « gradualisme » prennent des exemples techniques simples. Ils présentent volontiers une succession d'objets technologiques et suggèrent que par modifications insensibles on a pu passer de l'un à l'autre. C'est vrai à condition de présenter le spectacle de façon terriblement orientée. Par contre, vous ne pouvez pas passer graduellement de l'avion à l'hélicoptère. Vous ne pouvez pas faire tourner un petit peu les ailes d'un avion. Il n'y a pas d'objet commun dont on puisse graduellement dériver à la fois l'avion et l'hélicoptère. Or si l'on considère l'évolution des espèces, que nous reste-t-il des vertébrés ? Des squelettes. Il se trouve que les squelettes sont en continuité les uns avec les autres. Mais il n'en va pas de même si vous considérez la tuyauterie, qui elle n'est pas conservée. Je peux changer la disposition des pièces de mon appartement plus ou moins par continuité, en poussant les cloisons. Je ne peux pas le faire pour mon chauffage central, parce qu'il y a de la tuyauterie. A un moment donné, si je veux rajouter un tuyau, il faut que je coupe l'eau. Et mon chauffage central est arrêté. Il y a une discontinuité qualitative. Si vous considérez l'évolution des espèces, c'est pareil. Personne n'a fait l'exercice de concevoir une modification graduelle de la tuyauterie du poisson à celle, par exemple, de l'oiseau. Un bon exemple est celui du poumon. Chez les oiseaux, la circulation de l'air se fait en sens continu : c'est une tuyère. Chez nous, c'est un soufflet. Il a fallu qu'à un certain moment il y ait une inversion. Il est très difficile de concevoir comment une telle transformation a pu se faire graduellement. C'est comme passer de l'horloge à poids à l'horloge à ressort ou, sans doute, de l'économie planifiée à l'économie de marché. Comme le dit l'économiste Jacques Ioffé, récemment dans Dynasters : on ne fera pas progressivement passer les Anglais à la conduite à droite !.

Vous n'allez pas jusqu'à contester la notion d'évolution des espèces ?

Non, mais je pense qu'il a fallu que se produisent, d'une manière ou d'une autre, des naissances « monstrueuses ». Changer de tuyauterie, dans le monde vivant, c'est un saut monstrueux. Les chiens-loups et les caniches ont la même tuyauterie. Il y a une continuité, comme quand on change l'aérodynamisme d'une voiture. En revanche, il y a une discontinuité entre le poisson et l'oiseau, ou entre la mouche et le papillon, comme il y a une discontinuité entre une traction avant et une traction arrière.

Ces naissances monstrueuses, si elles ont eu lieu, auraient donc été des miracles biologiques...

Oui. au sens probabiliste du terme. Des événements dont la probabilité est trop faible pour qu'on puisse les introduire raisonnablement dans une théorie scientifique. Des naissances monstrueuses. il s'en produit tous les jours, mais elles ne sont pas viables. Là, il fallait qu'elles soient viables, et que les individus soient capables de se reproduire.

Et du singe à l'homme ? Voyez-vous un miracle, ou pas de miracle ?

## **Une cellule est bien plus complexe qu'un Boeing 747. Le soleil, lui, est simplement compliqué.**

Si l'on s'en tient à l'anatomie et à la physiologie, je ne vois pas de hiatus particulièrement flagrant entre le singe et l'homme. Je pense d'ailleurs-il me semble que c'est déjà chez Maupertuis - que l'homme procède par continuité biologique d'une espèce de singe. Mais en même temps, je vois dans le passage du singe à l'homme un saut qualitatif à côté duquel la différence entre l'épinoche et le singe me paraît subsidiaire. Le discours qui fut à la mode sur la continuité entre le singe et l'homme me paraît d'ailleurs heureusement un peu oublié aujourd'hui. Voici dix ou quinze ans, certains vulgarisateurs disaient qu'il suffisait d'apprendre à parler aux singes pour qu'ils parlent. On en est revenu. Plus personne n'y croit.

Alors, pas de miracle ?

Je n'en sais rien. Si l'on en croit le récit de la Genèse, ce serait en effet le cas...Il était une fois un couple singe qui eut un petit enfant homme...ou deux...

Vous n'adhérez pas au darwinisme classique, au gradualisme, mais en même temps vous n'êtes pas en mesure de prouver que cette théorie est fausse ?

Il n'existe pas actuellement de théorie scientifique alternative. Peut-être y en aura-t-il une un jour. Darwin et à sa suite tous les darwiniens orthodoxes, qui encore aujourd'hui dominent la scène scientifique, affirment la nécessité du gradualisme. Or le gradualisme n'a pour lui que des exemples relativement faibles : des exemples d'évolution où il n'y a pas de hiatus majeur entre les espèces. Il faut supposer qu'il existe une autre force qui a permis que des mutations violentes, des macromutations, donnent des objets viables et capables de se reproduire. Quand on considère la série des macromutations qui ont dû se produire depuis le début de l'évolution, quand on considère cette accumulation de miracles, la sélection naturelle au sens où l'entendent les darwiniens devient un phénomène tout à fait subalterne. S'il y a des forces qui dirigent les macromutations, il est clair que ce sont elles qui sont importantes du point de vue de la vie et pas les phénomènes de diversification mineure des espèces que l'on observe quelquefois dans la nature. Si ces autres forces existent, ce que raconte Darwin est complètement subsidiaire.

Vous jetez un doute sérieux sur la crédibilité du darwinisme. Vous ne démontrez pas que la théorie est fausse.

Je crois montrer qu'elle n'est ni très vraisemblable ni, à la limite, très intéressante. Cela dit, il n'est pas impossible qu'une preuve indirecte de l'impossibilité du gradualisme soit apportée par le développement des biotechnologies. Il semble en effet que les espoirs qu'on a mis dans l'ingénierie moléculaire n'aient pas répondu aux attentes. Pour l'instant, le génie génétique n'a pas provoqué de macro-mutation. Il n'a pas fait de miracle. Et la raison, c'est précisément qu'il se produit chez les êtres vivants des phénomènes d'une complexité qui semble défier notre ingénierie. Il y a là un mystère dont on peut préciser la nature. L'hérédité transmet d'un organisme à un autre une quantité d'informations dont on peut assez exactement évaluer l'ordre de grandeur et qui équivaut à une encyclopédie. Ce n'est pas beaucoup. Si l'on tient compte de tout ce qu'il faut savoir pour fabriquer un Boeing 747, cela représente beaucoup plus qu'une encyclopédie. Or une cellule est bien plus complexe qu'un Boeing 747. Comment est-il possible qu'avec si peu d'informations les chromosomes produisent un objet d'une telle complexité ?

Il y aurait donc un hiatus entre le nombre d'informations contenues dans les chromosomes et celui nécessaire pour fabriquer l'être vivant correspondant ?

On peut exprimer les choses autrement. Parmi les araignées qui font leur toile, il en est une qui a la taille d'une grosse tête d'épingle. Son système nerveux n'est pas énorme. Comme ses cellules nerveuses ne sont pas moins grosses que celles des autres animaux, elles ne sont pas nombreuses. Mais il y a entre elles des connexions très riches. Pour autant qu'on puisse faire le calcul, il ne semble pas déraisonnable de dire que ces petites araignées ont

## **Une cellule est bien plus complexe qu'un Boeing 747. Le soleil, lui, est simplement compliqué.**

un hardware qui est de l'ordre de celui d'un IBM PC. Essayez maintenant de programmer un IBM PC pour qu'il construise une toile d'araignée efficace. Il faut qu'elle soit installée au bon endroit, il faut qu'elle soit relativement protégée et située sur le passage potentiel des mouches... C'est bien plus difficile que de reconnaître un visage. Ce n'est simplement pas possible. La quantité d'informations nécessaire dépasse les capacités de traitement d'un IBM PC et probablement celles de tout ordinateur concevable. C'est cela la complexité...

**Propos recueillis par Olivier Postel-Vinay**

---

[1] Evolution, une théorie en crise, Michel Denton, Flammarion, 1992