

Vincent Boqueho

La Vie, ailleurs ?

Préface d'André Brack



DUNOD

SOMMAIRE

Préface	VII
Introduction	1
Chapitre 1. Qu'est-ce que la vie ?	5
Chapitre 2. Où trouver de la vie ?	49
Chapitre 3. Évasions extraterrestres	109
Chapitre 4. Où se cachent-ils ?	157
Chapitre 5. Scénarios du futur	203
Conclusion	241
Index	243

INTRODUCTION

Sommes-nous seuls dans la Voie Lactée ? Voilà une question particulièrement angoissante...

Si la réponse est « Oui ! », alors l'Humanité est face à une terrible responsabilité : qu'elle détruise la vie terrestre, et tout espoir de développement de l'intelligence dans notre galaxie sera perdu ! À l'ère où l'Humanité forme une seule civilisation à l'échelle planétaire, et où elle a la capacité de s'autodétruire intégralement, une telle perspective fait froid dans le dos...

Si la réponse est « Non ! », alors d'autres questions se posent aussitôt : pourquoi les extraterrestres ont-ils délaissé la Terre jusqu'à aujourd'hui ? Où se cachent-ils ? Quelles sont leurs intentions à notre égard ? Nous laisseront-ils coloniser d'autres étoiles à l'avenir ? Leur présence est-elle un atout ou un handicap pour le développement futur de l'Humanité ?

Tout le monde s'est déjà posé ce type de questions, et la science-fiction s'est chargée de proposer des visions très diverses de « l'Univers habité », actuel et futur. Mais pendant ce temps, les progrès scientifiques se poursuivent, et ne cessent d'éclairer ces questions d'un nouveau jour. Qu'il s'agisse de la découverte de planètes autour d'autres étoiles, de la recherche de signaux artificiels émis quelque part dans la galaxie, ou de la recherche de vie sur Mars, chaque année apporte son lot de nouvelles informations.

Aussi, la question de notre solitude réelle ou hypothétique reste-t-elle d'autant plus captivante que les arguments en faveur ou en défaveur de l'existence d'extraterrestres se sont fortement enrichis durant les dernières décennies. Ce sont ces arguments, anciens et nouveaux, que cet ouvrage entend présenter afin que chacun puisse former sa propre opinion.

À notre connaissance, l'Homme est le seul à posséder une intelligence développée ayant conduit à une civilisation technologique. Il est donc naturel de commencer par se demander ce qui a permis le développement de la vie sur Terre. Quelles sont les caractéristiques fortes de la vie terrestre expliquant qu'elle ait pu évoluer vers une intelligence de plus en plus grande ? Quels sont les processus physiques et chimiques fondamentaux à la base de ce développement ? Tel est l'objet du chapitre 1.

Ces questions en amènent d'autres dans leur sillage : les conditions nécessaires au développement de l'intelligence sont-elles très restrictives, ou au contraire assez souples ? Peut-on envisager une intelligence extraterrestre très différente de celle que nous connaissons ? Les réponses à ces questions nous éclaireront sur l'existence éventuelle d'extraterrestres au sein de notre galaxie. C'est l'objet du chapitre 2.

Le chapitre 3 marque une pause dans ces réflexions, en présentant plusieurs environnements dans notre galaxie radicalement différents de la Terre, et en proposant des formes de vie associées particulièrement originales... Il se base pour cela sur des systèmes planétaires réels découverts autour d'autres étoiles ces dernières années. C'est l'occasion de rêver un peu tout en gardant les pieds sur Terre !

Le chapitre 4 est assurément le point d'orgue de ce livre, car il met en avant ce qu'on appelle le « paradoxe de Fermi » et ses conséquences troublantes. En un mot, deux arguments antagonistes s'opposent : d'une part les centaines de milliards d'étoiles peuplant notre galaxie, souvent associées à des systèmes planétaires, plaident en faveur de l'existence d'une vie intelligente ailleurs que sur Terre. D'autre part, le fait est qu'aucune civilisation extraterrestre ne s'est installée sur Terre au cours de sa longue histoire, et qu'aucun indice de la présence d'extraterrestres dans la Galaxie n'a pu être observé jusqu'à présent. Le chapitre 4 précise les arguments derrière ce paradoxe, et propose des pistes pour le résoudre.

Le besoin de satisfaire le paradoxe de Fermi réduit notablement les scénarios envisageables en ce qui concerne le peuplement de notre galaxie. Le chapitre 5 est une ouverture qui met résolument le pied dans la science-fiction, présentant plusieurs visions possibles du peuplement de l'Univers, actuel et futur. Les scénarios proposés vont d'une galaxie grouillante de vie extraterrestre à une totale solitude de l'Humanité, seule en charge de coloniser les autres systèmes planétaires...

Notre place dans l'Univers est un puissant mystère ; mais ce qui le rend plus captivant encore, c'est que nous sommes en mesure de le résoudre, et que notre travail de détective a connu des avancées bouleversantes au cours de la dernière décennie. Ce livre présente plus que du rêve : il explique ce que l'Homme est susceptible de découvrir lorsqu'il s'éveillera...

1

QU'EST-CE QUE LA VIE ?

« Bien lire l'Univers, c'est bien lire la Vie. »

Victor Hugo

Avant de chercher à savoir si la vie existe sur d'autres planètes, il faut déjà se demander ce qu'est la vie sur Terre. Il n'en existe pas de définition bien arrêtée, mais en général, on définit un être vivant comme « un système matériel capable de se dupliquer presque à l'identique ».

C'est donc avant tout la « capacité de reproduction » qui définit la vie, et c'est effectivement une propriété forte qui explique sa stabilité. En quelque sorte, une telle structure matérielle crée des « sauvegardes » d'elle-même : lorsque la structure originelle est détruite, l'information qu'elle contient n'est pas perdue, puisqu'elle a été transmise à ses répliques...

Toutefois, les répliques ne sont jamais parfaitement identiques à l'original. On peut distinguer deux raisons à cela :

- Dans le cas de la reproduction sexuée, l'organisme fils reçoit de l'information provenant de deux organismes différents (les parents). Il se distingue donc à la fois du père et de la mère et possède une information spécifique et une identité propre.
- Par ailleurs, des mutations largement aléatoires peuvent survenir et modifier l'information initiale, même dans le cas d'une reproduction asexuée.

Dans tous les cas, le fait que l'information contenue dans les êtres vivants n'est pas figée est une grande force pour la vie : cela lui permet de s'adapter à l'évolution à long terme de l'environnement, par le biais de la sélection naturelle. En d'autres termes, la capacité de se dupliquer est un atout énorme, à condition qu'elle ne soit pas parfaite...

Être vivant : Système matériel capable de se répliquer presque à l'identique. Il est notamment caractérisé par une structure complexe et ordonnée.

Outre par sa capacité de reproduction, la vie est également caractérisée par une propriété forte qui nous intéressera beaucoup dans la suite : les êtres vivants sont des systèmes *complexes* et très *structurés*. Même une simple bactérie, qui n'est pourtant qu'une cellule sans noyau, possède une structure et une complexité qui dépassent largement celle de toute matière inerte. Sa seule membrane est constituée de molécules gigantesques formées d'un agencement à la fois complexe et extraordinairement ordonné d'atomes. Cette structuration exceptionnelle des êtres vivants est indispensable pour assurer leurs propriétés de réplication : un agencement aléatoire d'atomes est en effet dépourvu de toute fonctionnalité, et n'est donc que simple « poussière ».

Peut-on envisager des systèmes complexes et structurés qui ne soient pas du vivant, c'est-à-dire qui ne se répliquent pas ? De telles structures ne créeraient pas de « sauvegardes » d'elles-mêmes : le seul moyen pour les remplacer serait d'en reformer à partir de l'environnement, en « repartant de zéro ». Cela prendrait un temps considérable : ainsi, il a fallu pas moins de cinq cents millions d'années pour passer du poisson à l'Homme...

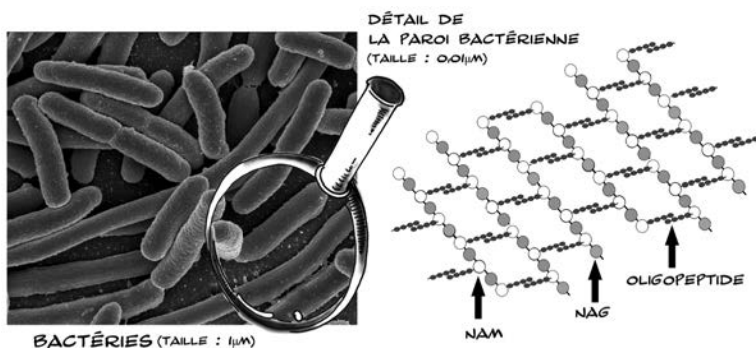
En d'autres termes, pour créer en un temps raisonnable un système complexe et ordonné, il faut nécessairement un autre système complexe et ordonné : la capacité de réplication paraît indispensable pour maintenir en l'état une telle structure.

Finalement, la capacité de réplication est à la fois une cause et une conséquence de la structure complexe et ordonnée des êtres vivants : les deux semblent aller de pair.

La bactérie, une structure complexe

La bactérie, en tant que cellule sans noyau, est l'un des êtres vivants les plus simples existant sur Terre. Pourtant, la structuration moléculaire d'une bactérie est extrêmement complexe : la figure ci-dessous montre l'exemple de la paroi bactérienne.

Notons que la matière inerte peut être très structurée elle aussi : c'est le cas des cristaux comme le diamant. Mais cette structure n'est constituée que par des atomes ou des molécules assez simples : ainsi, le diamant est un simple réseau d'atomes de carbone. La vie est la seule à créer des agencements à la fois ordonnés et complexes.



Sur le zoom de droite, chaque cercle représente lui-même une molécule organique complexe.

La vie à toutes les échelles

La vie regroupe des structures à l'échelle microscopique (les bactéries) et à l'échelle macroscopique (la faune et la flore à notre échelle). Cette cascade d'échelles implique qu'un être vivant peut être formé d'êtres vivants plus petits. Par exemple, le corps humain est constitué de cellules capables de se dupliquer : ainsi l'Homme dans son ensemble est un être vivant (puisque'il peut se reproduire), mais il est lui-même constitué de structures vivantes microscopiques (les cellules).

Cela nous invite à imaginer des êtres vivants qui se « superposeraient » sur trois échelles différentes. Prenons l'exemple d'une colonie de fourmis : la fourmi est un être vivant (elle peut se reproduire), formée de cellules

comme le corps humain. Mais elle est elle-même une composante infime d'une structure complexe et organisée à beaucoup plus grande échelle : la colonie. Une colonie est constituée de tout un ensemble de fourmis étroitement interdépendantes avec chacune un rôle distinct permettant à la colonie dans son ensemble de fonctionner : celle-ci acquiert ainsi une organisation propre qui n'apparaissait pas à l'échelle inférieure. De plus, la colonie peut se dupliquer, par l'intermédiaire d'une reine capable de reformer un nouveau « réseau de fourmis » à un autre endroit, ayant un fonctionnement d'ensemble identique. Autrement dit, la colonie en tant « qu'ensemble de fourmis interdépendantes » s'apparente à un être vivant, de même que le corps humain en tant « qu'ensemble de cellules interdépendantes ».

Dans une colonie de fourmis, la somme des comportements individuels de chaque fourmi crée un comportement global distinct, et c'est ce qui permet de faire émerger une nouvelle structure à plus grande échelle : on parle « d'intelligence collective » (ou de « synergie »). De même dans le corps humain, la structuration à grande échelle est permise grâce à « l'intelligence collective » issue du comportement individuel de chaque cellule.

Il faut toutefois préciser qu'il existe un saut quantitatif important entre la colonie de fourmis et le corps humain, en ce qui concerne la complexité de la structure : l'agencement et le fonctionnement des cellules dans le corps humain sont infiniment plus complexes que celui des fourmis dans une fourmilière ! Ainsi, une colonie peut accueillir plusieurs centaines de milliers de fourmis, tandis que le corps humain contient plus de cent mille milliards de cellules...

L'exemple de la fourmilière permet finalement de mettre en avant deux constats : tout d'abord, l'identification d'un organisme vivant peut être moins évidente qu'elle ne le semble de prime abord, même sur Terre. Autant dire qu'elle pourrait être encore plus délicate concernant des formes de vie extraterrestre présentes sur d'autres planètes !

D'autre part, la limite entre le vivant et l'inerte apparaît comme assez floue. Ainsi les êtres vivants ont la propriété de se dupliquer « presque à l'identique » : jusqu'à quel point la réplique doit-elle être fidèle à l'original pour que l'organisme puisse être considéré comme vivant ? Par ailleurs, les organismes vivants sont des systèmes « très complexes et très

structurés » : à quel niveau minimal de complexité commence le règne du vivant ? Selon les critères adoptés, la colonie de fourmis pourra être vue ou non comme un organisme vivant...

Synergie : phénomène dans lequel une communauté d'individus crée un effet plus grand que la somme de ces individus pris isolément. Elle est notamment à la base de l'intelligence collective.

Gaïa, un organisme planétaire ?

Passons à présent à une échelle encore plus grande : intéressons-nous à la biosphère prise dans son ensemble, à l'échelle planétaire. Tous les êtres vivants sont en interdépendance dans cette biosphère : les herbivores mangent les végétaux, les carnivores mangent les herbivores, les bactéries décomposent les animaux et les végétaux morts, et les végétaux récupèrent la matière organique... Il s'agit d'une structure gigantesque à l'organisation complexe, qui, prise comme un tout, a un fonctionnement propre. L'Homme en est un maillon, de même que la fourmi est un maillon dans la colonie, de même que la cellule est un maillon dans le corps humain.

Appelons donc « Gaïa » cet « organisme » planétaire : est-ce un être vivant ? Il forme bel et bien une structure complexe et organisée, mais est-il capable de se reproduire ? Il lui faudrait pour cela une deuxième planète où se dupliquer !

Aussi saugrenue que cette idée de « reproduction interstellaire » puisse paraître, elle ne peut pas être totalement rejetée aujourd'hui : il n'est pas exclu que certaines cellules terrestres puissent être éjectées dans l'Espace, et conservées à l'abri des rayons cosmiques nocifs dans une gangue de matière. Certaines d'entre elles pourraient alors atteindre une autre planète orbitant autour d'une autre étoile, dont l'environnement serait favorable à leur développement. Les cellules pourraient alors reformer une nouvelle biosphère sur cette nouvelle planète, similaire à celle terrestre (puisque basée sur un même type de constituant microscopique), sans pour autant lui être identique en tout point. Ainsi, Gaïa serait capable de se dupliquer, tout en mutant afin de s'adapter au nouvel environnement. Dans ce cas, Gaïa posséderait bien les caractéristiques d'un être vivant.

Une telle théorie de diffusion de la vie de planète en planète s'appelle la « panspermie ». Il faut bien préciser qu'aucune observation n'a permis jusqu'à présent d'appuyer cette théorie, qui a surtout le mérite d'être assez « élégante »... En fait, le scénario que nous venons de présenter reste assez peu probable : nous y reviendrons dans la suite de ce livre.

Quoi qu'il en soit, le fait que « Gaïa » puisse se dupliquer ou pas n'est pas essentiel pour ce qui nous occupe : cela ne change en rien la nature de la biosphère. Nous nous contenterons de constater qu'en tant que structure complexe et organisée, « Gaïa » s'apparente à un être vivant.

Gaïa possède donc certaines caractéristiques propres au vivant, tout comme la colonie de fourmis. Les mots doivent toutefois être utilisés avec prudence, car ils peuvent convoquer des notions sans aucun lien avec la définition de la vie. Ainsi, parler de Gaïa comme d'un être vivant peut éveiller l'idée d'un être doté de « conscience ». Toute modification locale de l'environnement naturel est alors perçue comme une action faisant « souffrir la planète ». Cela tend à prêter des caractéristiques humaines à Gaïa, qui n'est somme toute qu'un simple système matériel de grande envergure... De même, considérer une colonie de fourmis comme un unique être vivant ne doit pas nous mener pour autant à croire que ce « système » posséderait une conscience, qui serait « supérieure » à celle d'une simple fourmi...

En revanche, le fait d'appeler « Gaïa » la biosphère terrestre prise dans son ensemble permet de mieux prendre conscience de sa fragilité et de son importance en tant que système global. L'atteinte massive de l'Homme à l'environnement naturel peut avoir des conséquences graves et irréversibles sur la planète, puisque tous les constituants de la biosphère sont en interaction. On peut prendre l'image de certaines cellules du corps humain qui se mettraient à proliférer, à la manière d'un cancer : à court terme ces cellules deviendraient plus nombreuses et plus fortes, mais à long terme elles mèneraient à la mort du corps. À cet instant, non seulement les cellules ne pourraient plus se développer, mais elles mourraient tout simplement, puisque aucun corps ne serait plus là pour les alimenter.

Il s'agit donc de ne pas reproduire ce scénario dans ce système complexe qu'est la biosphère planétaire : la prudence est de mise dans une telle structure très ordonnée car, en raison de cet ordonnancement

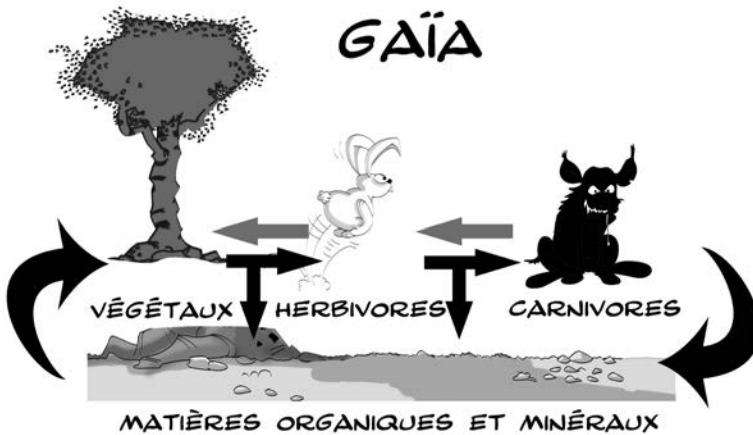
Le fonctionnement de la biosphère terrestre

Une cascade d'échelles



Chaque organisme d'une échelle supérieure est un réseau d'organismes de l'échelle inférieure. Des échelles intermédiaires peuvent éventuellement s'intercaler (comme dans l'exemple de la colonie de fourmis).

La chaîne alimentaire



Les flèches en gris rappellent que la dépendance est souvent à double sens. Par exemple, les abeilles utilisent la production des plantes à fleurs pour vivre, mais permettent en retour leur reproduction. Si le niveau de dépendance augmente globalement de la gauche vers la droite, tous les maillons de la chaîne n'en sont donc pas moins étroitement interdépendants.

méticuleux, une action minime peut entraîner des conséquences majeures et inattendues.

La vie et la conscience

Si la vie est tellement associée à la conscience dans notre esprit, c'est évidemment parce que nous mettons l'Homme « au sommet de la pyramide » : la vie nous semble fascinante parce qu'elle a permis à des êtres doués de conscience d'émerger.

Il est très difficile de savoir quelle structure matérielle bien particulière peut permettre l'apparition de la conscience. Il est même impossible de déterminer les organismes doués de conscience : dans l'absolu, seule l'existence de notre conscience personnelle est une certitude ! L'existence d'une conscience chez les autres n'est qu'une supposition « raisonnable », une simple analogie : « ces êtres me ressemblent, dans leur apparence et dans leurs comportements. Or je possède une conscience, donc ils doivent probablement en avoir une eux aussi »...

Plus l'apparence et le comportement d'un organisme s'éloignent du nôtre, plus nous sommes réticents à lui accorder une conscience. Le chimpanzé possède-t-il une conscience ? C'est possible. Le lézard en possède-t-il ? Cela nous semble peu probable. Une bactérie en possède-t-elle ? Cela nous paraît ridicule...

Ces conclusions intuitives ne sont basées que sur des analogies avec l'Homme, et il faut donc avoir conscience de leur fragilité : elles sont fondées sur un simple dogme. Par ailleurs, l'idée de l'existence ou non d'une conscience est sans aucun doute très réductrice : il est manifeste qu'il existe plusieurs niveaux de conscience. En effet, ces différents niveaux apparaissent chez l'Homme lui-même : le niveau de conscience lors d'un rêve n'est pas le même qu'à l'état de veille, et il peut même varier d'un rêve à l'autre. On peut de même imaginer un niveau de conscience qui s'échelonne progressivement au sein des différents êtres vivants que nous avons mentionnés : négligeable pour la bactérie, infime pour le lézard, relativement faible pour le chimpanzé, et élevé pour l'Homme éveillé. Là encore, il ne s'agit que de suppositions fondées sur des analogies et invérifiables.

Remarquons simplement que la conscience de l'Homme semble bel et bien naître dans le cerveau, ou au moins y trouver un support. Or le cerveau est peut-être l'exemple de structure ordonnée la plus complexe qui soit : c'est cet enchevêtrement très ordonné des neurones qui permet de « compiler » des informations très diverses pour en « déduire » l'action à mener.

La conscience a-t-elle besoin de cette structuration « ultime » pour émerger ? C'est possible, mais rien ne permet de l'affirmer. Seule l'étude du cerveau jusqu'à des échelles de plus en plus microscopiques pourrait permettre d'en savoir plus, mais cela appartient à un avenir encore lointain. Peut-être constaterons-nous un jour qu'il est possible de créer de la conscience même dans des organismes artificiels, tels que des ordinateurs à la structure particulièrement aboutie (par exemple dans des « droïdes », pour reprendre un terme de science-fiction...).

Finalement, la recherche d'éventuels « êtres conscients » sur d'autres planètes est sans objet pour l'instant, puisqu'il nous est impossible de déterminer l'existence ou non d'une conscience, même chez nos semblables !

Le mystère de la conscience

Quels sont les processus en jeu quand vous souhaitez rattraper une balle ? Dans un premier temps, la lumière émise par la balle met en mouvement des charges au fond de votre œil : ce mouvement crée un signal électrique dans le nerf optique, qui se propage jusqu'à atteindre une zone située à l'arrière du cerveau. Là, le signal correspondant à l'image captée se propage sous forme électrique et chimique au sein d'un gigantesque réseau de neurones : vous venez de « voir » la balle.

Cette information électrochimique gagne ensuite la région médiane du cerveau : là elle se mélange à de très nombreux autres signaux, en provenance d'autres régions. Cette superposition d'informations diverses au sein d'un réseau très ordonné de neurones donne lieu à un « signal résultant », qui se propage vers l'avant du cerveau : vous venez de déterminer la conduite à suivre pour rattraper la balle.

Une fois qu'il atteint l'avant du cerveau, le signal électrochimique se retransforme en signal purement électrique qui commence sa propagation dans un nerf : vous venez de commander à votre bras de se lever. Ce signal

électrique atteindra finalement le muscle de votre bras et provoquera sa contraction.

Finalement, le processus dans le cerveau s'est schématiquement subdivisé en trois étapes : « perception, réflexion, action ». Mais ces trois étapes se sont succédé de façon totalement « mécanique » : le signal électrique issu du nerf optique s'est simplement combiné à d'autres signaux électrochimiques dans le cerveau, de façon particulièrement « judicieuse » grâce au réseau très ordonné de neurones, jusqu'à former un nouveau signal électrique transmis vers votre bras. La conscience ne semble avoir aucune place dans un tel processus !

Pourtant, au moment où le signal du nerf optique a atteint l'arrière de votre cerveau, vous avez bien « vu » la balle avec votre « esprit » (c'est-à-dire « spirituellement » et pas seulement « matériellement »). Pourquoi cette zone du cerveau est-elle la seule capable de transformer le signal matériel en un signal spirituel associé au sens de la vue ? Les neurones y semblent pourtant les mêmes qu'ailleurs : comme partout, il s'agit ni plus ni moins d'un réseau extrêmement complexe et ordonné d'atomes. Comment diable ce réseau-là peut-il donner naissance au sens de la vue ? Où s'effectue la transition du matériel au spirituel ? À l'échelle de l'atome, de la cellule, ou du réseau de neurones ? En quoi la conscience peut-elle être utile à la Nature, puisque *a priori* la structure matérielle du cerveau pourrait tout aussi bien s'en sortir sans elle ? Quel est l'intérêt de l'esprit, quelle est sa valeur ajoutée ?

La même question se pose bien sûr dans toutes les autres zones du cerveau, chacune ayant son propre lien bien distinct avec l'esprit. Par ailleurs dans certaines régions, les signaux semblent rester purement matériels sans créer de perception spirituelle : c'est le domaine de « l'inconscient ».

N'ayons pas peur des mots : le lien entre le corps et l'esprit est sans doute la plus grande énigme de la Nature. Il est à la racine des questions les plus existentielles de la philosophie : sans l'émergence de la conscience, personne ne serait là pour observer l'Univers et tout se passerait comme s'il n'existait pas. Se demander pourquoi on possède une conscience revient donc à se demander pourquoi il y a quelque chose plutôt que rien...

La vie et l'intelligence

Nous avons naturellement tendance à établir une « hiérarchie » dans le vivant : un simple « bouillon » de matière organique vivante a tout de même beaucoup moins d'intérêt qu'un animal évolué tel que le chimpanzé ! De même, découvrir une « vie intelligente » sur une autre planète reste le but ultime, à défaut de pouvoir détecter une « vie consciente »...

Qu'est-ce au juste que l'intelligence ? Un Homme est intelligent non pas s'il connaît beaucoup de choses (il s'agit alors de simple mémoire), mais s'il est capable de compiler un grand nombre de données pour en tirer des conclusions nouvelles. La « capacité d'établir des liens entre plusieurs données pour en obtenir une nouvelle » est une caractéristique forte de l'intelligence.

L'intelligence n'est pas forcément liée à la conscience, et a le mérite d'appartenir au monde objectif et d'être « mesurable ». « L'intelligence artificielle » en fait partie : un « ordinateur intelligent » est capable de prendre en compte un nombre considérable de données très diverses pour en déduire la « conduite à suivre ».

La force de l'intelligence est qu'elle est liée à la capacité d'innovation : de nouvelles données déduites des anciennes viennent s'y ajouter, ce qui permet d'en déduire des conclusions supplémentaires, et ainsi de suite... La capacité d'innovation est alors limitée par l'intelligence elle-même : plus le nombre d'informations augmente, plus il devient difficile de les compiler pour en déduire de nouvelles. Plus un être est intelligent, plus il sera capable d'établir des liens entre de très nombreuses informations, et plus il pourra innover.

Notons à ce sujet qu'une société peut avoir une intelligence plus élevée qu'un individu isolé (comme dans le cas de la colonie de fourmis) : aucun individu ne peut tout connaître, chacun a donc un ensemble limité de données à sa disposition. Mais les petites informations que l'individu isolé est susceptible de découvrir peuvent ensuite être utilisées par un autre, qui possède d'autres données, et qui pourra donc émettre de nouvelles conclusions. Ainsi un groupe a-t-il une capacité d'innovation supérieure à celle d'un individu : il est capable de compiler de proche en proche un

grand nombre d'informations réparties entre ses membres, ce qu'un seul individu serait incapable de faire.

Intelligence : capacité à établir des liens entre un grand nombre de données pour en déduire une donnée nouvelle.

Il existe donc plusieurs niveaux d'intelligence, liés au nombre de données à partir desquelles des conclusions peuvent être établies. Ces différents niveaux d'intelligence semblent être directement liés au niveau de structuration de l'organisme.

En effet, il paraît clair qu'un assemblage aléatoire d'atomes est dépourvu de toute intelligence. Dans un ordinateur, chaque transistor a une place bien précise au sein d'une structure bien étudiée, et il y en a plusieurs milliards ! Quant au cerveau humain, il contient de l'ordre de cent milliards de neurones judicieusement agencés.

Nous sommes en train de parler de structures particulièrement complexes et ordonnées... Cela rejoint bien sûr l'une des propriétés fortes de la vie ! L'existence d'un organisme intelligent mais non vivant sur une autre planète paraît donc inenvisageable.

On peut toujours imaginer des systèmes intelligents mais qui ne se reproduisent pas, comme des super-ordinateurs. Mais cela signifie que d'autres êtres, intelligents et *vivants*, doivent être là pour les maintenir en état ou en recréer de nouveaux, puisque ces ordinateurs ne peuvent pas s'auto-répliquer. On retrouve l'idée centrale de la vie : un système organisé et complexe ne peut pas survivre à long terme si des répliques de lui-même ne sont pas créées régulièrement...

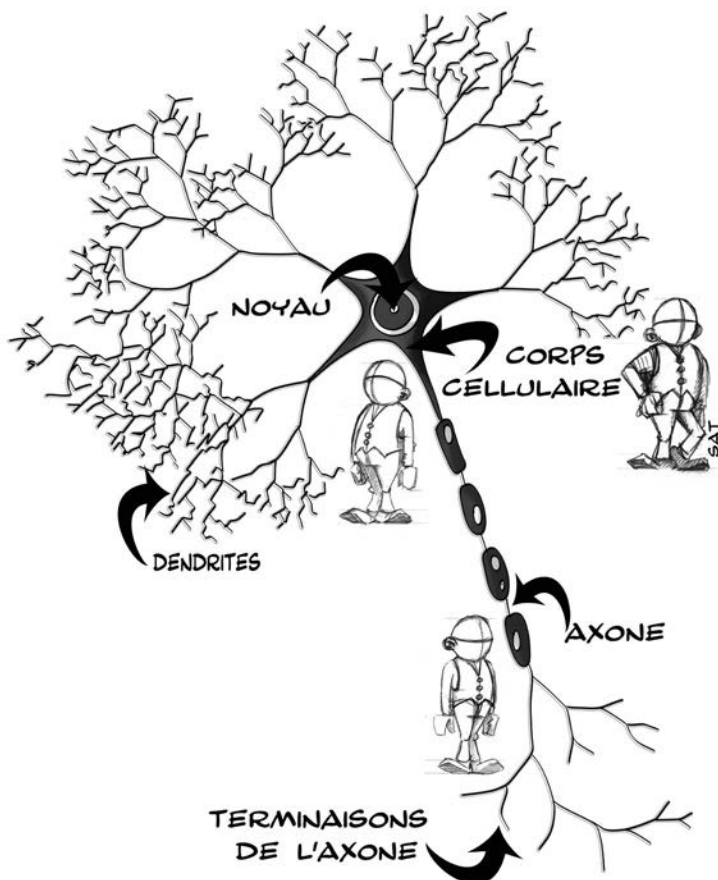
Il s'agit là d'un intérêt majeur de la vie : elle seule semble en mesure de conduire de façon autonome à des êtres intelligents.

Le réseau neuronal en quelques chiffres

Le cerveau humain contient environ cent milliards de neurones, soit vingt fois plus que celui du chimpanzé. Cependant, l'intelligence dépend surtout du nombre de connexions mises en jeu. Or chaque neurone humain peut créer des connexions avec environ vingt mille autres neurones, grâce à ses

innombrables ramifications : cela offre au moins un million de milliards de connexions possibles dans le cerveau.

Schéma d'un neurone



D'autre part, pour qu'il y ait un développement possible de l'intelligence, ces connexions ne doivent pas s'établir au hasard. Le signal émis dans l'axone se renforce plus ou moins en fonction des signaux incidents captés au niveau des dendrites : c'est bien l'association de plusieurs données d'entrée qui conduit à un signal de sortie spécifique.

Chez les nouveau-nés, les connexions s'établissent encore largement au hasard : en effet, l'information contenue dans le génome humain reste bien

trop faible pour pouvoir contenir « le code » de toutes les connexions à établir dans le cerveau. C'est donc par l'apprentissage, tout au long de la vie (et surtout pendant l'enfance), que le réseau de connexions se structure. Finalement, si le nombre de neurones dans le cerveau atteint un maximum vers cinq ans, l'intelligence quant à elle peut s'accroître pendant toute la durée de la vie, puisqu'elle est due à une meilleure structuration du réseau de connexions...

Précisons enfin que le cerveau consomme environ un tiers de l'énergie totale utilisée par le corps humain. Mais en retour, le développement de l'intelligence a permis à l'Homme d'aller chercher plus efficacement sa nourriture : le bilan d'énergie est positif, justifiant que la Nature a autorisé la voie de l'intelligence dans l'évolution des espèces...

Les briques élémentaires de la vie

Atome : brique essentielle de la matière constituée d'un noyau regroupant des protons et des neutrons, environné par un nuage d'électrons. On parle « d'élément » lorsqu'on ne s'intéresse qu'au nombre de protons. L'élément le plus léger est l'hydrogène (un seul proton), l'élément naturel le plus lourd présent sur Terre est l'uranium (92 protons).

Sur Terre, la vie est constituée de matière organique, c'est-à-dire de molécules à base de carbone, associé principalement à de l'hydrogène, de l'oxygène, et de l'azote.

Pourquoi a-t-elle choisi ces « briques » bien particulières pour se construire, alors qu'il existe près d'une centaine d'éléments différents dans l'Univers ? Est-il envisageable que la vie se soit développée de manière totalement différente sur une autre planète, à partir d'autres éléments que les quatre cités ?

Pour répondre à ces questions, commençons par un bref aperçu de l'abondance des éléments dans l'Univers : par ordre décroissant on trouve l'hydrogène et l'hélium, puis l'oxygène, le carbone, le néon, le fer et l'azote. Cette hiérarchie dans les abondances s'explique par la physique nucléaire : nous ne nous attarderons pas là-dessus.

Vincent Boqueho

Préface d'André Brack

La Vie, ailleurs ?

Sommes-nous seuls dans l'Univers ? Si des êtres intelligents existent ailleurs, pourquoi ne se sont-ils pas encore manifestés ? Et finalement, comment la vie est-elle apparue sur Terre ?

Alors que de plus en plus d'exoplanètes sont découvertes, nous savons maintenant que la probabilité de l'existence de la vie, quelle qu'elle soit, sur l'une des milliards de planètes qui constituent l'univers, est forte. Les scientifiques sont à la recherche de petites planètes denses, dotées d'une surface solide, enveloppées d'une atmosphère. C'est cette quête extraordinaire que raconte ce livre, de la détection de systèmes planétaires dans notre galaxie à l'écoute des signaux du cosmos et aux projets futuristes de voyages spatiaux habités, où la science rejoint la science-fiction.

« Sénèque écrivait : "Les plus belles découvertes cesseraient de me plaire si je devais les garder pour moi." Le message a parfaitement été entendu par Vincent Boqueho. »

André Brack, astrobiologiste



VINCENT BOQUEHO

est docteur en astrophysique, auteur de *Toute la Physique sur un timbre-poste*.



9 782100 558629

6915243

ISBN 978-2-10-055862-9



DUNOD

www.dunod.com