



«Astucieux» Richard Dawkins
«Trépidant» Frans de Waal

ARIK KERSHENBAUM

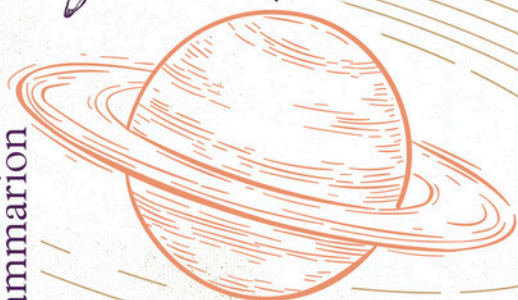
LA VIE EXTRA TERRESTRE



UN GUIDE À L'USAGE DU
VOYAGEUR GALACTIQUE



Flammarion



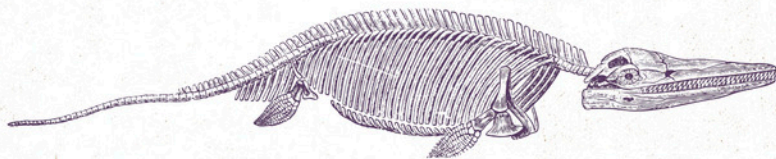
*Préparez-vous à voyager là où jamais
aucun lecteur n'est allé !*



Quel serait le portrait-robot d'un alien ? La question est brûlante, alors que les découvertes d'exoplanètes se multiplient et que des sondes sillonnent le Système solaire à la recherche de traces de vie. Or il n'y a qu'une façon de se préparer au « premier contact », nous dit l'auteur, zoologiste reconnu : identifier les lois de l'évolution sur Terre et, par un audacieux retournement, les appliquer aux autres mondes.

Mouvement, langage, intelligence, sociabilité, etc. : les animaux en disent long sur les formes possibles de vie extraterrestre. Ils sont là depuis des millions d'années et ont dû s'adapter à diverses catastrophes naturelles comme à l'apparition de nouvelles espèces. C'est ainsi que des êtres se déplaçant à l'aide de cils, à la façon de nombreux invertébrés, pourraient bien peupler les lacs de méthane de Titan, tandis que la communication par champ électrique développée par le poisson-couteau ferait merveille dans un océan obscur... Une fascinante réflexion sur les mécanismes au cœur du règne animal et, partant, de notre humanité.

Docteur en biologie évolutive, Arik Kershenbaum est zoologiste et mène ses recherches au Girton College de l'université de Cambridge. Spécialiste du langage animal, il est membre du comité international METI.org, qui réfléchit aux modes de communication extraterrestre.



Flammarion

CNL CENTRE NATIONAL DU LIVRE

LA VIE
EXTRA
TERRESTRE

ARIK KERSHENBAUM

LA VIE EXTRA TERRESTRE

UN GUIDE À L'USAGE DU
VOYAGEUR GALACTIQUE

Traduit de l'anglais (Royaume-Uni) par Sophie Lem



Flammarion

L'ouvrage a été publié en 2020 au Royaume-Uni par les Éditions Viking (Penguin Random House), sous le titre *The Zoologist's Guide to the Galaxy*.

Copyright © Arik Kershenbaum, 2020
Tous droits réservés

© Flammarion, 2021
ISBN : 978-2-0815-1652-6

*À mon chien Darwin, qui m'a appris
que des espèces très différentes
partagent énormément de choses.
Et à mon père, qui m'a appris
à trouver les différences et les points communs.*

INTRODUCTION

Précautions d'usage pour lire ce guide

La vie existe ailleurs dans l'Univers ; le contraire serait impensable. Quant à apprendre quoi que ce soit sur elle, voilà qui frôle l'impossible... Et pourtant. À travers ce livre, je vais vous montrer que nous pouvons dire bien des choses sur les extraterrestres, et notamment sur leur aspect, sur leur mode de vie et sur leur comportement.

Nous sommes toujours plus certains que d'autres planètes que la nôtre hébergent la vie et, perspective excitante s'il en est, que nous la découvrirons un jour. En 2015, la scientifique en chef de la NASA, Ellen Stofan, a prédit que nous prouverions la présence de la vie sur d'autres planètes d'ici vingt à trente ans. Elle faisait bien sûr référence à des micro-organismes ou à leurs équivalents extraterrestres, pas nécessairement à une vie intelligente. Cette éventualité n'en reste pas moins sidérante. Au début du XX^e siècle, l'humanité était obsédée par l'idée de rencontrer des extraterrestres ; faute d'indices probants, nous sommes passés par une phase de pessimisme résigné dans les années 1970 et 1980, pour revenir aujourd'hui à un optimisme pragmatique. Ce livre explique comment exploiter cette approche, scientifique et réaliste, pour tirer des conclusions plausibles sur la vie extraterrestre en général, et sur la vie extraterrestre intelligente en particulier.

Puisque les extraterrestres n'ont pas encore débarqué chez nous, comment savoir à quoi ils ressemblent ? Faut-il se fier à l'imagination des scénaristes de Hollywood et des auteurs de science-fiction ? Après tout, les animaux extraterrestres ne sont peut-être pas plus étranges que les kangourous, qui bondissent sur des pieds démesurés, ou que les calmars, qui se propulsent comme des scooters des mers en faisant miroiter leurs motifs multicolores. En effet, les lois de la biologie sont les mêmes pour tous les êtres vivants, ici et ailleurs ; et en nous appuyant sur ces lois universelles, nous verrons que les solutions adoptées par les animaux terrestres sont probablement pertinentes pour des animaux extraterrestres. Sur Terre, les animaux ont de bonnes raisons de sauter comme un kangourou ou de se propulser en crachant de l'eau ; et ces façons de se déplacer seront tout aussi appropriées sur d'autres planètes.

À quel point la vie est-elle rare dans l'Univers ? Jusqu'aux années 1990, la présence de planètes orbitant autour d'autres étoiles (les exoplanètes) faisait seulement l'objet de spéculations et de quelques calculs théoriques. Les scientifiques n'avaient alors aucune idée du nombre de planètes présentes dans notre galaxie, ni *a fortiori* de leurs caractéristiques telles que leur température en surface, leur masse, leur taille, la composition chimique de leur atmosphère... Lorsque la technologie a atteint un niveau suffisant pour que nous détections des exoplanètes, l'excitation a commencé à monter. Peut-être allons-nous enfin découvrir des planètes susceptibles d'abriter la vie...

Les premiers résultats ont été décevants. Les rares exoplanètes repérées étaient des géantes gazeuses chaudes, peu hospitalières pour la vie telle que nous la connaissons – et même pour des formes de vie plus exotiques. Heureusement, moins de vingt ans après la découverte de la première exoplanète, une avancée spectaculaire s'est produite grâce au télescope spatial Kepler. Ce dernier, lancé en 2009, avait pour mission

de rechercher d'éventuelles planètes dans une petite région de l'espace, plus ou moins la portion de ciel que cache votre poing lorsque vous tendez le bras. Au bout de six semaines d'observation, Kepler avait déjà repéré cinq nouvelles exoplanètes. À l'achèvement de sa mission, en 2018, il avait détecté pas moins de 2 662 candidates orbitant autour des étoiles situées dans ce minuscule coin de galaxie.

Les implications sont stupéfiantes. Dans notre galaxie, les planètes sont bien plus nombreuses que nous ne le pensions ; et, grâce à l'amélioration des méthodes de mesure, nous en savons maintenant davantage sur elles. Celles que nous avons découvertes offrent un éventail d'environnements variés, depuis les planètes gazeuses chaudes de la taille de Jupiter jusqu'à des planètes rocheuses remarquablement semblables à la Terre¹. L'Univers est beaucoup plus peuplé qu'il ne semblait l'être en 2009. Nos petits-enfants auront du mal à croire que nous ayons pu penser que les planètes comme la Terre sont rares ! Il n'est plus possible, désormais, de dire que l'Univers manque de mondes habitables.

Nous avons maintenant une bien meilleure compréhension des conditions qui règnent sur les exoplanètes ; et, de plus en plus souvent, nous sommes même capables de les mesurer. Les nouveaux instruments développés actuellement détecteront par exemple les espèces chimiques présentes dans l'atmosphère d'une exoplanète ; il leur suffira pour cela d'analyser la lumière émise par son étoile, et de repérer les changements que la lumière subit lorsqu'elle traverse cette atmosphère avant de nous parvenir. Nous chercherons de l'oxygène, bien sûr, mais aussi des molécules complexes qui pourraient signaler une activité industrielle. Paradoxalement, la pollution est un signe d'intelligence cosmique.

D'une manière ou d'une autre, la vie a éclos au moins une fois dans l'Univers ; nous en sommes la preuve. Comment ?

1. Voir *The Planet Factory: Exoplanets and the Search for a Second Earth*, de Elizabeth Tasker, Bloomsbury, 2017.

Nous ne le savons pas. Bien sûr, les scientifiques ont formulé de nombreuses théories sur les mécanismes qui ont abouti à ce résultat. Les briques chimiques indispensables à la vie se sont probablement formées par hasard ; puis, grâce à un heureux concours de circonstances, elles se sont combinées en une molécule capable de s'autorépliquer. Dans l'ensemble, il s'agit d'une succession d'événements assez improbable. Faut-il en conclure que la vie est apparue de la même manière sur d'autres planètes ? Absolument pas. Nous ignorons dans quelle mesure les processus qui se sont déroulés sur Terre sont pertinents ailleurs. La vie extraterrestre pourrait se fonder sur une chimie du carbone similaire à la nôtre, mais aussi sur une chimie du carbone différente, voire sur une chimie tout à fait autre comme une chimie du silicium.

Les principes de la chimie sont relativement bien connus ; nous savons, au laboratoire, déterminer les structures moléculaires qui s'avèrent stables et celles qui ne le sont pas. Nous avons tendance à penser que les molécules organiques qui composent notre propre corps sont des ingrédients adaptés au « vivant ». Mais une fois énumérées quelques idées plausibles, très basiques, sur la nature de la biochimie extraterrestre, c'est le brouillard le plus complet.

Nous n'avons aucun spécimen de flore ou de faune extraterrestre à nous mettre sous la main ; nous ne savons même pas si les termes « plantes » et « animaux » ont un sens sur une autre planète que la nôtre. La NASA a beau être optimiste sur la découverte prochaine de signes de vie extraterrestre, nous sommes loin de visiter des planètes situées en dehors de notre système solaire. Un saut technologique énorme sera nécessaire pour que nos vaisseaux franchissent les immenses distances interstellaires qui nous en séparent ; et si concocter des espèces chimiques « extraterrestres » au laboratoire est de notre ressort, observer directement des oiseaux extraterrestres avec des jumelles reste, pour l'instant, dans le domaine du rêve.

Lorsque nous nous interrogeons sur la nature des extraterrestres, nous butons sur un problème : nos hypothèses partent nécessairement du seul type de vie que nous connaissons, celui qu'on trouve sur la Terre. Dans quelle mesure est-il raisonnable de s'appuyer sur cet exemple unique, le nôtre, pour en tirer des conclusions plus générales ?

Certains soutiennent d'ailleurs que les spéculations sur la nature de la vie extraterrestre sont parfaitement inutiles : notre imagination serait trop liée à notre propre expérience pour envisager les possibilités incroyablement variées et totalement autres qui sont peut-être la norme dans d'autres mondes. L'écrivain de science-fiction et auteur de *2001 : l'Odyssée de l'espace*, Arthur C. Clarke, a ainsi déclaré : « Nulle part, dans l'espace, nous ne pourrions poser nos yeux sur les formes familières d'arbres, de plantes ou d'animaux qui peuplent notre monde. » Selon cette idée reçue, la vie extraterrestre serait « trop » extraterrestre pour être appréhendée. Je ne suis pas de cet avis. Aujourd'hui, la science nous donne les moyens de dépasser cette vision pessimiste ; nous sommes tout à fait en mesure de fournir quelques indications sur ce que peut être la vie extraterrestre. Ainsi, dans ce livre, je m'appuie sur notre connaissance du fonctionnement de la vie terrestre, et surtout de l'évolution qu'elle suit depuis des millions d'années, pour essayer de concevoir la vie sur d'autres planètes.

Comment un zoologiste tel que moi, plus habitué à suivre les loups sur les neiges des montagnes Rocheuses et à traquer les damans des rochers dans les collines en Galilée, a-t-il fini par s'intéresser à la vie extraterrestre ? L'un de mes sujets de recherche est la communication animale ; j'étudie notamment les raisons pour lesquelles les animaux émettent les sons qu'ils font. En 2014, j'ai donné une conférence au Radcliffe Institute de Harvard, intitulée « Si les oiseaux savaient parler, le remarquerions-nous ? ». Que les humains soient doués de langage, contrairement aux autres animaux, cette affirmation semble évidente ; mais comment s'en assurer ?

Je m'attachais alors à trouver un critère mathématique pour repérer un « langage » dans la communication des animaux ; des indicateurs clairement mesurables qui indiqueraient : « Oui, ceci est du langage », ou « Non, ce n'est pas du langage ». Avec d'autres collègues et amis un peu fous, nous en sommes tout naturellement venus à nous poser la même question à propos de signaux provenant de l'espace. S'agit-il d'un langage ? Si oui, quel genre de créatures en est à l'origine ? Ce questionnement a été notre point de départ, et il nous est vite apparu que nous pouvions étendre aux exoplanètes notre compréhension d'autres aspects de la vie sur Terre, comme la recherche de nourriture, la reproduction, la compétition et la coopération.

Mais pourquoi étudier les extraterrestres dans le contexte de la zoologie, alors que nous n'en avons jamais croisé un seul, et que nous ne sommes même pas sûrs de leur existence ? Je réponds souvent à cette objection en faisant le parallèle avec mon activité d'enseignement. Lorsque les étudiants de premier cycle arrivent à l'université, fraîchement sortis du lycée, ils viennent de subir une batterie d'examens qui ont testé en long et en large leur capacité à apprendre par cœur une longue liste de faits. Notre première tâche, en tant qu'éducateurs, consiste alors à les convaincre que ces connaissances sont certes utiles, mais qu'il leur faut, d'abord et surtout, comprendre les concepts sous-jacents.

L'important, ce n'est pas de savoir ce qu'il advient dans la nature, mais pourquoi. Quels processus sont à l'œuvre dans la nature ? C'est la clé de la zoologie sur Terre... et cette clé nous ouvre aussi des portes pour explorer la zoologie sur d'autres planètes. Au moment où j'écris ces lignes, nos étudiants de deuxième année à Cambridge se préparent pour une visite sur le terrain à Bornéo. Certains d'entre eux quittent le Royaume-Uni pour la première fois de leur vie. Leur demandons-nous d'apprendre par cœur un guide de terrain recensant les centaines d'oiseaux et les milliers d'insectes de

Bornéo ? Bien sûr que non. Tout comme les futurs explorateurs qui mettront les pieds sur un monde inconnu, ils ont surtout besoin de comprendre les principes évolutifs qui ont conduit aux formes de vie qu'ils vont rencontrer, dans toute leur diversité. Ce n'est que lorsque ces principes leur seront clairs qu'ils sauront interpréter ce qu'ils auront sous les yeux.

La plupart des gens considèrent que les lois de la physique et de la chimie sont univoques et universelles – c'est-à-dire qu'elles s'appliquent de la même façon sur Terre que sur n'importe quelle planète. Ainsi, les prédictions que nous faisons sur le comportement de la matière et des espèces chimiques face à différentes situations sont tout aussi valables ici que dans d'autres parties de l'Univers. Toute la science repose sur ce postulat.

Certains estiment toutefois que la biologie constitue une exception ; ils ont du mal à croire que les lois que nous avons tirées de nos observations sur Terre s'appliquent aussi sur une exoplanète. Carl Sagan par exemple, un célèbre astronome et vulgarisateur du XX^e siècle, était convaincu de l'existence d'une vie intelligente ailleurs dans l'Univers ; il n'en écrivait pas moins : « Pour autant que nous le sachions, la biologie est tout à fait terre à terre et provinciale ; et nous ne connaissons probablement qu'un cas particulier parmi des myriades de biologies variées¹. »

Face à l'inconnu, la prudence est effectivement de mise. Nous avons toutefois de bonnes raisons de nous montrer confiants ; il suffit d'identifier les lois de la biologie qui sont réellement universelles, de la même manière que les lois de la physique le sont. Pourquoi la biologie, plus que les autres disciplines, serait-elle « terre à terre et provinciale » ? Les lois de la nature, physiques, chimiques et biologiques, ne sont-elles pas communes à tout l'Univers ? Par rapport aux autres

1. Voir *Intelligent Life in the Universe*, de I. S. Chklovski et Carl Sagan, Holden Day, 1966, p. 183.

planètes, il est peu probable que la Terre soit exceptionnelle au point que les règles y soient radicalement différentes. Selon Lucrèce, le grand philosophe romain mort en 55 avant notre ère : « C'est ainsi que partout opère la Nature. » Mieux : il existe donc « des amas de matière, des mondes habités, frères de ce séjour ». Bref, les exoplanètes qui hébergent la vie font aussi partie de la « nature » et ne demandent qu'à être explorées.

Contrairement à une idée répandue, les zoologistes ne se contentent pas d'identifier et de classer les animaux. Comme les scientifiques des autres disciplines, ils essaient d'expliquer ce qu'ils observent. La zoologie et la biologie de l'évolution en général s'attachent à élucider les mécanismes du monde vivant. Pourquoi les lions vivent-ils en troupe tandis que les tigres chassent en solitaire ? Pourquoi les oiseaux n'ont-ils que deux ailes ? Tant que nous y sommes, pourquoi la grande majorité des animaux ont-ils un côté gauche et un côté droit ? Les observations ne suffisent pas. Les zoologistes tentent d'en déduire l'ensemble des lois qui régissent la vie, de la même manière que les physiciens formulent les lois qui régissent le mouvement des planètes et des étoiles. Si ces règles biologiques sont universelles, alors elles s'appliqueront sur une autre planète tout aussi bien que la loi de la gravitation.

Le monde vivant, c'est vrai, est souvent perçu comme changeant et imprévisible. Un physicien sait décrire très précisément la trajectoire d'une balle qui dévale le flanc d'une colline, et il vous fournira sans peine un jeu d'équations pour prédire le mouvement d'une sphère qui roule sur une pente, n'importe où dans l'Univers. Les expériences de physique s'effectuent dans des conditions bien contrôlées et reposent sur des hypothèses simplificatrices ; des prérequis hors de portée lorsqu'on étudie des êtres vivants dans le monde réel.

Une blague bien connue met en scène un physicien qui essaie de trouver des équations pour prédire le comportement d'une poule ; il finit par déclarer qu'il existe de fait une

formule, mais seulement pour une poule sphérique placée dans le vide... Les poules réelles ne relèvent pas du domaine de la physique et sont donc, pour un physicien, imprévisibles. Mais pourquoi pouvons-nous prédire le mouvement d'une balle, tandis que le comportement d'une poule nous échappe ?

La réponse se trouve du côté de la complexité. Les systèmes biologiques donnent l'impression de ne pas obéir à des règles strictes parce qu'ils sont intrinsèquement et profondément complexes. En termes mathématiques, un système est considéré comme complexe lorsqu'il comporte de multiples sous-systèmes interdépendants. Un faible niveau de dépendance entre des sous-systèmes relativement simples suffit pour que le comportement global devienne totalement imprévisible, ou encore, dans le jargon technique, chaotique. Essayez de prédire le comportement de tous les organes qui interagissent dans votre corps ; ou bien de toutes les cellules de tous les organes de votre corps ; ou encore de toutes les protéines de toutes les cellules de tous les organes de votre corps... Le moindre changement dans un seul élément peut déclencher une cascade d'effets inattendus. Ainsi, même la forme de vie la plus simple est clairement complexe. Et le comportement des systèmes complexes est difficile à prédire.

L'une des caractéristiques particulièrement frustrantes d'un système complexe est que vous n'en percerez jamais tous les secrets, quel que soit le soin avec lequel vous l'étudiez. Nous tendons à penser que, si nous consacrons suffisamment de temps et d'attention à un objet, nous finirons par tout savoir à son sujet. Hélas, la théorie du chaos nous dit qu'il est possible de décrire un système avec cent fois plus de précision, et pourtant de n'améliorer que de dix fois notre capacité à prédire son comportement. Vous aurez beau consacrer des ressources croissantes à la compréhension d'un système complexe, vos prédictions ne s'amélioreront que de façon très marginale. Le jeu n'en vaut pas la chandelle.

Heureusement, les systèmes complexes présentent ce qu'on appelle des propriétés émergentes ; et si leur comportement futur n'est pas prédictible, vous vous en ferez tout de même une idée générale. Une poule affamée cherchera des graines à picorer, même si je ne sais pas exactement lesquelles. Pour un biologiste, il est plus utile, dans la pratique, de savoir que « la poule picorera des graines » plutôt que de savoir que « la poule picorera ce type précis de graine ». Ainsi, au lieu de nous perdre en conjectures sur la biochimie de la vie extraterrestre ou sur la structure de l'œil des aliens, nous pouvons prédire, de façon plus générale, que cette biochimie leur fournira de l'énergie, et essayer de déterminer s'ils ont ou non des yeux, quelle que puisse être leur anatomie. Ces prévisions fiables sur la vie sur d'autres planètes, nous les ferons grâce aux lois universelles de la biologie.

Quelles sont donc ces lois universelles de la biologie ? La première, et la plus importante, est que la vie évolue par sélection naturelle. On ne saurait trop insister sur l'importance de ce processus ; c'est la pierre angulaire sur laquelle repose toute la biologie depuis les travaux fondateurs de Charles Darwin. La sélection naturelle est l'unique mécanisme que nous connaissons qui fasse émerger la complexité à partir d'éléments simples (si nous rejetons l'hypothèse d'une force divine qui en serait à l'origine). Il s'agit en outre d'un processus inéluctable, qui ne se limite pas à la planète Terre ou à « la vie telle que nous la connaissons ». Si l'Univers abrite des systèmes complexes du type de ceux que nous appelons « êtres vivants », c'est parce que la sélection naturelle y est à l'œuvre.

D'autres livres défendent, mieux que le mien, l'universalité de la sélection naturelle ¹ ; mais ma thèse est si peu commune que, dans le premier chapitre, je préciserai ce que j'entends lorsque j'affirme que « les extraterrestres ont évolué par sélection naturelle ». Ainsi que l'a souligné le philosophe Daniel

1. Voir en particulier *L'Horloger aveugle*, de Richard Dawkins, Robert Laffont, 1984.

Dennett, « sélection naturelle » et « dessein intelligent » aboutissent pratiquement au même résultat, c'est-à-dire à accumuler les caractéristiques utiles et à éliminer les mauvaises¹. Quand nous concevons un nouvel avion ou un nouveau trombone, nous reprenons les bonnes idées des versions précédentes. Sélection et conception diffèrent cependant en ce que la conception a une finalité, alors que la sélection est aveugle et ne procède qu'étape après étape. Une girafe ne « sait » pas qu'il lui serait utile d'avoir un long cou, même si elle finit par en développer un.

Cette cécité de la sélection naturelle facilite beaucoup nos conjectures sur la vie extraterrestre. Inutile de faire des prédictions ambitieuses sur la façon dont les espèces extraterrestres « devraient » être ; il suffit d'examiner les conditions régnant sur une planète à un moment donné pour deviner les caractéristiques qui sont susceptibles d'apparaître. La présence de grands arbres (ou leur équivalent), par exemple, permet de supposer que certains animaux auront un long cou ou de longues pattes, ou ce qui leur en tiendra lieu.

L'évolution par sélection naturelle présente une autre propriété intéressante : elle est presque indépendante du mécanisme par lequel ont lieu la reproduction et la sélection. Elle s'applique notamment à des concepts abstraits ; Richard Dawkins, par exemple, a inventé le terme de « mème » pour décrire un concept (comme la religion) qui se reproduit par la communication au sein d'une société, et entre en concurrence avec d'autres idées dans une dynamique évolutive².

Ainsi, la sélection naturelle peut se définir en termes purement mathématiques, sans faire référence à un système biologique particulier ou à une forme « organique » de reproduction. Cette caractéristique la rend incroyablement

1. *Darwin est-il dangereux ? L'évolution et les sens de la vie*, de Daniel C. Dennett, Odile Jacob, 2000.

2. Voir *Le Gène égoïste*, de Richard Dawkins, Odile Jacob, 2013.

puissante : cela signifie que la sélection naturelle s'applique à tous les parcours qui mènent à des formes de vie complexes dans l'Univers. La sélection naturelle ne dépend ni de l'ADN ni des biochimies particulières à la Terre. Nous n'avons donc pas besoin de connaître les détails de la biochimie extraterrestre : quelle qu'elle soit, elle sera issue de la sélection naturelle.

Jusqu'à présent, l'étude de la vie en dehors de la Terre, ou astrobiologie, s'est traditionnellement cantonnée à quelques domaines bien délimités. Pour la plupart, les astrobiologistes étudient les origines de la vie : ils se demandent comment la vie a commencé sur Terre et réfléchissent aux implications de ce scénario lorsqu'on le transpose à d'autres planètes. La vie est-elle apparue sur Terre à un moment donné, ou à plusieurs reprises ? Cet événement miraculeux s'est-il produit dans des lagons tièdes et peu profonds, comme Darwin le pensait ; ou bien près de volcans sous-marins où de l'eau chaude, riche en minéraux, offre l'environnement parfait pour l'éclosion d'une vie bactérienne étrange et merveilleuse ?

Un autre domaine d'exploration porte sur les biochimies alternatives. La vie sur d'autres planètes n'utilise peut-être pas l'ADN comme support de l'information génétique ; et la biochimie extraterrestre pourrait s'avérer totalement différente de la nôtre, basée par exemple sur un solvant autre que l'eau. Il s'agit d'un point crucial, car de nombreuses planètes (y compris dans notre système solaire) sont trop froides ou trop chaudes pour abriter de l'eau à l'état liquide. Ces sujets importants ne sont toutefois pas l'objet de ce livre. Je vais plutôt considérer des questions qui retiennent rarement l'attention des astrobiologistes : à quoi pourrait ressembler une vie extraterrestre complexe ? Que dire, concrètement, de l'écologie extraterrestre et du comportement des aliens, en exploitant les outils et les éléments dont nous disposons sur Terre ?

Un zoologiste qui observerait à distance un continent nouvellement découvert ferait mille suppositions sur le type de créatures qui le peuplent. Ces suppositions ne seraient pas des spéculations extravagantes, mais des hypothèses rationnelles, fondées sur l'immense diversité des animaux qu'il connaît déjà ; ce vaste panel offre autant d'exemples de la façon dont chaque animal s'est adapté à son environnement pour répondre à ses besoins (manger, dormir, trouver un partenaire et construire sa tanière, etc.). Mieux le zoologiste comprend comment les animaux se sont adaptés au monde qu'il connaît, plus ses hypothèses sur de nouveaux mondes se révéleront exactes.

C'est l'approche que j'adopterai pour appréhender la vie extraterrestre : aussi différente soit-elle de la vie terrestre, cette dernière nous offre tout de même des enseignements utiles. Les processus évolutifs que nous observons sur notre planète sont dus à des facteurs et à des mécanismes qui seront probablement à l'œuvre ailleurs. Le mouvement, la communication et la coopération, par exemple, sont le produit de l'évolution et apportent des solutions à des problèmes universels.

Si jamais nous entrons en contact avec une civilisation extraterrestre, c'est-à-dire avec des êtres intelligents et pas seulement des sortes de microbes ou de méduses, nous pourrions être sûrs de plusieurs choses : ils disposeront d'une forme de technologie (sinon comment aurions-nous établi un contact ?), ce qui signifie qu'ils seront coopératifs, et par conséquent sociaux. Et le simple fait qu'une espèce soit sociale a de multiples conséquences sur le plan évolutif.

Peut-être ces êtres seront-ils comme nous brutaux et belliqueux ; mais je soutiens que, pour être sociaux, ils doivent aussi être altruistes. Si un vaisseau spatial extraterrestre atterrit un jour dans le centre de Londres, alors il est certain que ses passagers se « parleront » en utilisant une sorte de langage, même si nous ne pouvons pas deviner à l'avance s'il se véhiculera sous forme acoustique, visuelle, voire électrique. Peu

importe que ces aliens aient deux jambes, plusieurs ou aucune ; je suis persuadé que le langage sera la principale caractéristique que nous partagerons avec une civilisation extraterrestre.

Parmi toutes les réflexions déjà menées sur la possibilité d'une vie extraterrestre, celles qui sont scientifiquement rigoureuses sont rares, mais pas inexistantes. Pour prendre deux exemples qui nous sont familiers, la science-fiction moderne de *Star Trek* n'est pas moins fantaisiste que les conjectures faites par H. G. Wells dans *La Guerre des mondes* !

Depuis que nous avons compris que les astres visibles dans le ciel nocturne formaient des mondes à part entière, nous avons tenté de déterminer si des formes de vie foulaient leur sol. Dès 1913, l'astronome britannique Edward Walter Maunder¹ publiait un petit livre sur le sujet. L'opuscule passe en revue, avec une grande rigueur scientifique, les possibilités de vie sur les autres corps du Système solaire, en considérant tour à tour chaque planète, la Lune, et même le Soleil (que des scientifiques aussi éminents que William Herschel, le découvreur d'Uranus, pensaient susceptible d'abriter la vie !). Maunder écarte méthodiquement la possibilité d'une vie sur Mercure, Mars, la Lune et le Soleil, au cours d'un raisonnement clair basé sur les observations et les mesures de l'époque. Sa démarche ne prête guère le flanc à la critique, même selon les standards actuels.

Malgré la capacité de Maunder à raisonner logiquement, ses conclusions sont erronées pour la plupart. Rien d'étonnant

1. Outre ce livre abordable (*Are the Planets Inhabited?* Lector House, 2020), destiné au grand public, Maunder a déployé de nombreux efforts pour vulgariser l'astronomie. Sa femme Annie Russell, également astronome, a fait ses études au Girton College de Cambridge, à une époque où les femmes n'étaient pas autorisées à recevoir des diplômes. Avec elle, Maunder a fondé la British Astronomical Association en 1890, en protestation contre la Royal Astronomical Society qui n'admettait pas de femmes parmi ses membres.

à cela : à tout moment, notre compréhension de l'Univers reste limitée, non seulement par notre capacité à raisonner logiquement, mais aussi par la précision de nos outils de mesure ; sans oublier que nous n'avons pas une connaissance parfaite des mécanismes qui régissent les processus biologiques et physiques autour de nous.

De graves erreurs d'interprétation peuvent être commises à cause de lacunes apparemment mineures dans l'ensemble de nos connaissances. Pour Maunder, Vénus était la meilleure candidate pour héberger la vie dans le Système solaire, car les astronomes de l'époque estimaient sa température de surface à environ 95 °C et pensaient que les épais nuages qui recouvrent la planète étaient faits de vapeur d'eau. Nous savons maintenant, grâce à des instruments de mesure plus performants (sans parler des sondes spatiales qui ont atterri sur Vénus), que sa température de surface est plus proche de 450 °C, et que les beaux nuages blancs et brillants sont en réalité constitués... d'acide sulfurique. Le manque de données fiables entravera toujours notre quête d'explications ; mais, comme Maunder, nous devons commencer la recherche sans nous laisser décourager.

Nous désirons tous savoir à quoi ressemblent les extraterrestres, et se fier à l'imagination des producteurs hollywoodiens n'est pas la meilleure approche. À toutes les époques, nous nous sommes représenté les extraterrestres soit comme des humains disproportionnés, soit comme des animaux monstrueux, par exemple des araignées ou des vers géants sortis de nos pires cauchemars. Ce réflexe est compréhensible : nous avons beau avoir inventé l'éclairage électrique, l'inconnu et l'obscurité nous font toujours aussi peur et, comme nos ancêtres, nous craignons les animaux et les démons tapis dans le noir, « dehors ».

Même si cet appel à nos terreurs primitives fonctionne très bien au cinéma, assimiler « inconnu » et « effrayant » n'est pas une façon rigoureuse de mener l'enquête. Existe-t-il une

démarche, plus scientifique, qui nous éclairerait sur l'aspect des extraterrestres ? Malheureusement, pour l'instant, les plus louables efforts pour poser les prémices d'un raisonnement sérieux prêtent encore à sourire – ou versent dans l'élucubration pure.

En fait, il est beaucoup plus facile de prévoir le comportement des extraterrestres que leur apparence. L'apparence est davantage sujette aux accidents de l'évolution et aux bizarreries du développement embryologique ; le comportement est une réponse plus directe à l'environnement. Si nous avons deux bras et deux jambes, c'est en grande partie à cause d'un petit hasard de l'évolution : il y a 400 millions d'années, nos ancêtres, similaires aux coelacanthes, sillonnaient les eaux peu profondes à l'aide de quatre nageoires. Ces quatre membres sont encore présents chez les descendants de ce poisson : les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les mammifères d'aujourd'hui. Avec un ancêtre différent, un crustacé par exemple, nous nous serions peut-être retrouvés avec six ou huit membres ! Après avoir lu le chapitre 3, vous vous ferez votre propre opinion sur le nombre insolite de jambes que nous aurions pu avoir, et vous vous convaincrez (ou non) que les extraterrestres sont également munis de membres similaires.

Tout comportement sert un objectif général. La socialité (que nous examinerons au chapitre 6) est par exemple une réponse à des problèmes qui se posent dans tous les environnements : des problèmes qu'un individu est incapable de résoudre seul, comme chasser des animaux plus grands que lui, ou construire des structures défensives pour s'abriter. Si les extraterrestres sont confrontés à de tels problèmes, alors certains d'entre eux seront probablement sociaux.

Il est vrai que le comportement social est généralement propre à une espèce, et nous ne pouvons pas nous attendre à ce que des extraterrestres pratiquent des religions ou développent des économies capitalistes semblables aux nôtres.

Malgré tout, certaines caractéristiques de la socialité sont sûrement universelles. Sa simple existence dépend d'attitudes telles que la réciprocité, l'altruisme et la concurrence, qui sont le moteur de l'évolution du comportement social ; elles seront donc présentes chez toute espèce sociale.

Les autres chapitres de ce livre traitent d'autres comportements qui émergent face à des pressions de l'environnement ; nous y étudierons leurs origines évolutives et leurs implications dans notre quête sur les extraterrestres. La communication, l'intelligence, et même le langage et la culture jouent un rôle dans ce qui nous définit en tant qu'humains, mais ces « particularités » ne nous sont pas aussi spécifiques qu'elles ne le paraissent à première vue. Nous pourrions tout à fait les partager avec les extraterrestres. Quelle importance qu'ils soient verts ou bleus si, comme nous, ils vivent en famille avec des animaux domestiques, lisent et écrivent des livres, et prennent soin de leurs enfants et de leurs proches ?

Chaque chapitre de ce livre aborde un comportement animal qui n'est pas propre à notre planète, et qui ne peut pas l'être. Nous avons eu tendance, jusque-là, à attribuer aux extraterrestres un aspect étrange, mais nous n'avons pas besoin d'inventer des extraterrestres qui se comportent étrangement : la riche panoplie des comportements exhibés sur Terre embrasse déjà les leurs. Je développe cette idée dans le chapitre 1, en expliquant pourquoi des exemples liés à la Terre sont utiles pour comprendre la vie sur d'autres planètes.

Dans le chapitre 2, j'examine la définition du mot « animal » : couvre-t-elle uniquement une créature terrestre, ou le terme peut-il également s'appliquer à des organismes n'ayant aucun lien avec notre planète ? Les chapitres 3 et 4 s'intéressent à la façon dont les animaux et les extraterrestres se déplacent et communiquent. Des créatures s'adonneront nécessairement à ces deux activités sur n'importe quelle planète ; et ces comportements sont tellement contraints par les lois de la physique qu'il est possible de prédire, en grande partie, leurs ressorts.

Le chapitre 5 porte sur la caractéristique difficile à cerner, et pourtant si prisée, qu'est l'intelligence : comment les animaux donnent-ils un sens au monde qui les entoure et résolvent-ils les problèmes auxquels ils sont confrontés ? Nous voulons tous croire que l'Univers abrite des extraterrestres intelligents, et, comme je tenterai de le montrer dans ce chapitre, leur existence est plus que probable. Le chapitre 6 évoque d'autres qualités que nous espérons trouver chez les extraterrestres : la coopération et la socialité. Tant d'animaux sur Terre vivent en groupe, et ils le font pour de très bonnes raisons qui sont valables sur d'autres planètes.

Les chapitres 7 et 8 traitent de l'échange d'informations et du langage à proprement parler, la seule caractéristique humaine qui semble jusqu'à présent nous différencier des autres êtres vivants sur Terre. Le chapitre 9 aborde la question délicate de la vie artificielle et s'interroge sur l'aspect que présenteraient les écosystèmes extraterrestres si leurs habitants n'étaient pas des animaux, mais des robots ou des ordinateurs. Enfin, le chapitre 10 tente d'apporter des éléments de réponse à une question philosophique difficile : s'il existe des extraterrestres intelligents, sociaux et doués de parole, quel est alors le propre de l'homme, et comment redéfinir notre humanité ?

Nos tentatives pour comprendre la nature de la vie extraterrestre sont embryonnaires, mais elles ont un rôle important à jouer : elles impulsent le développement de l'astrobiologie en tant que discipline et nous aident à comprendre la science de la vie en général. Elles nous préparent aussi au grand moment où l'humanité sera confrontée au fait qu'elle n'est pas seule dans l'Univers !

La façon dont nous réagirons, en tant qu'espèce, lorsque nous découvrirons pour la première fois que la vie existe sur d'autres planètes, n'a pas été suffisamment envisagée¹.

1. Voir *The Impact of Discovering Life beyond Earth*, de Steven J. Dick, Cambridge University Press, 2015.

Introduction

Assisterons-nous à des scènes d'hystérie collective et à des pillages ? À l'apparition d'un fondamentalisme religieux, ou au contraire à l'abandon massif de la religion ? Ou peut-être que, pour reprendre les paroles d'un tube des années 1960, « la paix guidera les planètes et l'amour dirigera les étoiles ¹ » ? Un peu de préparation ne nous ferait certainement pas de mal.

L'histoire l'a montré : la science a renversé le piédestal que l'humanité s'était élevé en se plaçant au sommet de la Création ; et la découverte de la vie extraterrestre achèvera de souligner la banalité de notre existence. Du moins, je le pense. Si les biologistes de l'évolution comme moi ont raison, les humains partagent un même héritage avec toutes les autres formes de vie présentes dans l'Univers. Il est vrai que nos origines sont distinctes, que nos biochimies sont peut-être très dissemblables, et que nous n'aurons pas forcément d'ancêtre en commun avec des créatures présentes sur une autre planète. Mais leur espèce et la nôtre auront vécu un même processus. Lorsque nous rencontrerons des habitants d'autres mondes, nous constaterons peut-être que nos histoires évolutives ne sont pas identiques, mais du moins serons-nous reconnaissables en tant que formes de vie intelligentes par les zoologistes extraterrestres.

Et si ces extraterrestres vivent, comme nous, dans des sociétés basées sur la coopération, alors le fait de pouvoir identifier l'origine évolutive commune de notre socialité ne sera pas une mince avancée. Et peut-être, peut-être seulement, pourrions-nous alors utiliser le terme « humanité » pour désigner quelque chose d'un peu plus large et de plus significatif que les seuls descendants d'un groupe de singes qui errait jadis dans les prairies, au beau milieu d'une infime portion de continent, sur une minuscule planète qui orbite dans un coin d'une galaxie perdue parmi des milliards d'autres.

1. Aquarius, « Then peace will guide the planets, and love will steer the stars », de la comédie musicale *Hair* (N.d.T.).

1

FORME CONTRE FONCTION

Quels points communs d'un monde à l'autre ?

Au début du XIX^e siècle, les chasseurs de fossiles Mary et Joseph Anning, aujourd'hui célèbres, ont découvert un squelette inhabituel sur la plage de Lyme Regis, sur la côte sud de l'Angleterre. Les premiers savants qui l'ont examiné ont eu du mal à le classer : les os pouvaient aussi bien appartenir à un poisson qu'à un reptile. Il s'agissait en fait d'un ichtyosaure, un reptile marin superbement adapté à la nage rapide, avec un long museau et des yeux bien développés. Pour la plupart des lecteurs, cette description évoquera un dauphin ; et pourtant, les dauphins et les ichtyosaures ne sont pas plus apparentés qu'un humain et un triton. La forme – c'est-à-dire la morphologie d'un animal et son comportement – est inextricablement liée à la fonction – comment l'animal survit, emmagasine de l'énergie et se reproduit. Ce lien sera notre fil d'Ariane pour tirer des conclusions sur l'aspect des extraterrestres sans tomber dans des spéculations totalement fantaisistes.

J'ai promis que nous aurons recours aux lois de la biologie – telles qu'elles sont actuellement formulées – pour nous ancrer dans un ensemble de vérités fondamentales et universelles, de la même façon que nous nous fierions aux lois de la

physique et de la chimie. Si la nature de l'Univers est partout la même, alors la vie se conforme aux mêmes règles en tous lieux. Mais quelles sont, au juste, ces lois de la biologie ? Pour répondre à cette question, nous devons poser les briques de notre raisonnement l'une après l'autre, avec beaucoup de prudence. Le risque est en effet d'échafauder un monde factice, rempli de créatures imaginaires, en appliquant de façon inappropriée à d'autres planètes des observations faites sur Terre. Évitions de nous laisser prendre par des conjectures qui, après tout, n'existent que dans notre tête ¹.

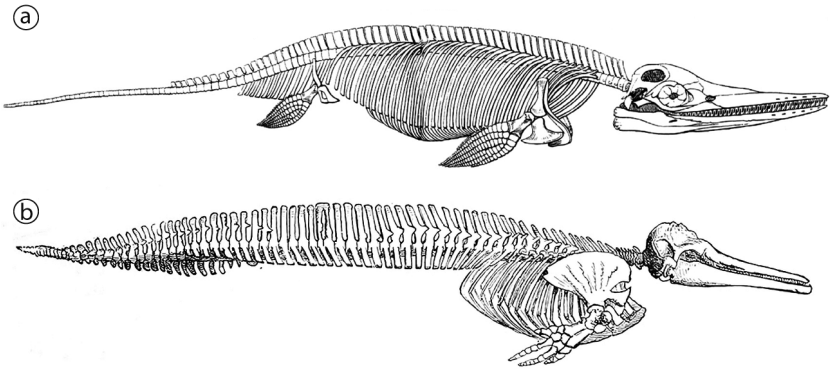
Au contraire, nous voulons identifier les lois universelles, les principes fondamentaux absolus qui contraignent la vie et lui imposent sa nature. Ne renoncez pas à tout esprit critique, car je ferai peut-être des erreurs. Toutefois, je suis convaincu que notre compréhension de la nature biologique de la vie, et en particulier de l'évolution de la vie, a atteint un point où il est possible de commencer à généraliser nos connaissances à d'autres planètes sans trop se tromper.

Notre principal outil, pour rester ancré à la réalité et ne pas dériver vers la science-fiction, consiste à faire la distinction cruciale entre forme et fonction. Les animaux présentent des formes remarquables, incroyablement variées. Nous admirons la palette de couleurs exhibées par les oiseaux et les fleurs, et nous sommes fascinés par l'allure étrange et merveilleuse des trompes d'éléphants et des cornes de narvals ; nous frémissons en écoutant le hurlement des loups et le chant des baleines à bosse.

La diversité des formes animales s'observe à la fois dans leur aspect (c'est-à-dire leur morphologie, leur taille et leur couleur ; leur pelage ou leur plumage ; et tous leurs appendices tels que trompes, défenses, coquilles, tentacules...) et

1. Dans *Possible Worlds*, Chatto and Windus, 1927, J. B. S. Haldane écrit : « En général, les philosophes qui échafaudent un monde amusant finissent par croire qu'il s'agit du monde réel. »

Forme contre fonction



Squelette d'un ichtyosaure (a) et squelette d'un dauphin (b). Ces animaux ont probablement eu un mode de vie proche, celui de prédateurs sous-marins rapides (fonction) et ont donc développé une morphologie similaire (forme).

dans leur comportement (la façon dont ils cherchent de la nourriture, trouvent des partenaires, interagissent avec leurs congénères et des individus d'espèces différentes). Chacune de ces formes, qu'elle relève de l'apparence ou du comportement, a une fonction, un rôle évolutif.

Il arrive parfois que des « accidents » évolutifs se produisent, et qu'une forme qui n'a pas de fonction se maintienne malgré tout. La forme en question a peut-être eu une utilité par le passé, à l'instar des ailes de l'autruche ; elle n'en a plus aujourd'hui, mais aucune pression évolutive ne la pousse à changer. Ces cas mis à part, la plupart des formes ont une fonction : les plumages colorés des oiseaux attirent leurs partenaires ; les trompes des éléphants leur servent entre autres à manipuler leur nourriture.

Ainsi, presque toutes les formes animales que nous voyons dans la nature remplissent une fonction qui améliore la capacité de l'animal à survivre et à prospérer en tant qu'espèce, même si la nature de cet avantage n'est pas toujours évidente au premier abord. L'exemple typique est celui de la robe des zèbres. Pourquoi les zèbres ont-ils des rayures ? La question

divise les scientifiques depuis longtemps. Charles Darwin lui-même a mis en doute l'explication, souvent avancée, selon laquelle les rayures serviraient aux zèbres de camouflage, et plusieurs hypothèses alternatives ont été proposées au fil des ans. Ces fameuses rayures signaleraient leurs qualités de reproducteur auprès des individus du sexe opposé ; ou désorienteraient les prédateurs par un effet stroboscopique de lignes mouvantes ; ou perturberaient les mouches piqueuses tentant de se poser sur leur pelage ; voire aideraient les zèbres à rester au frais en générant des courants d'air entre les rayures sombres, plus chaudes, et les rayures blanches...

L'important, pour notre propos, n'est pas de savoir qui a raison et qui a tort. Ce qui est essentiel, c'est que chaque explication met en avant un avantage, et une fonction. Les formes de vie familières qui peuplent notre planète ont émergé parce qu'elles offrent des avantages spécifiques.

Il arrive malgré tout que des événements aléatoires scellent le destin de certaines formes, sans pour autant leur conférer une fonction spécifique. Ce phénomène est particulièrement marqué lorsque les populations sont composées d'un nombre réduit d'individus. Si les futurs colons humains d'une exoplanète ou les premiers oiseaux arrivant sur une île lointaine sont tous très semblables génétiquement, leur descendance reflétera ce manque de diversité pour les générations à venir. Lorsque des populations se retrouvent isolées, des changements aléatoires qui ne sont ni utiles ni nuisibles s'accumulent, et elles acquièrent alors des traits qui les distinguent des autres membres de leur espèce.

Ainsi, lorsque nous étudions de nouvelles espèces, que ce soit sur d'autres planètes ou sur des îles terrestres restées isolées pendant un certain temps, nous devons faire attention de ne pas supposer que toutes les formes observées sont directement attribuables à une fonction particulière. C'est ce qu'on appelle la sélection neutre, et son importance dans l'évolution

fait l'objet de nombreux débats. Notons que ces formes fortuites sont généralement anodines et modestes, bien loin des spectaculaires rayures des zèbres qui sont finalement coûteuses pour ces paisibles herbivores, puisqu'elles les rendent plus visibles par les prédateurs.

Grâce à cette distinction entre forme et fonction, nous allons faire le ménage dans notre bestiaire imaginaire des formes de vie extraterrestres. La plupart du temps, ces créatures fictives ressemblent à celles créées pour le grand écran et pour la télévision : des êtres humanoïdes dont certaines caractéristiques physiques ont été amplifiées (les dents ou les yeux, par exemple) pour suggérer que des attributs abstraits (telles que la voracité ou l'intelligence) se trouvent exacerbés chez eux. Or ce livre traite tout autant de la façon dont les extraterrestres agissent que de leur apparence. Tout comme nous, face aux grands défis de la vie tels que trouver de la nourriture, éviter de devenir soi-même de la nourriture et se reproduire, leurs options seront limitées par les lois de la biologie.

Lorsque nous considérons la vie sur Terre, ce sont ses formes qui capturent en premier lieu notre attention, plutôt que ses fonctions : les couleurs vives des oiseaux, des fleurs et des grenouilles venimeuses comme les dendrobates ; les dimensions colossales d'une baleine bleue ; la ténacité d'une lionne qui pourchasse un buffle... À bien y penser, cette diversité de formes n'est en réalité que le reflet de la diversité des fonctions. Si les espèces animales sont aussi différentes, c'est parce que chacune résout à sa façon un ensemble de problèmes : la couleur sert ainsi à attirer des partenaires chez certains oiseaux ou à décourager d'éventuels prédateurs chez les dendrobates ; la taille de la baleine la protège contre les attaques ; la ténacité de la lionne augmente ses chances d'obtenir de la nourriture.

Les lois de la biologie ne nous permettent pas de faire des prédictions très spécifiques sur les formes des extraterrestres, mais elles nous autorisent à faire des prédictions générales sur

les fonctions que ces formes remplissent. Et une chose est sûre : dans les écosystèmes extraterrestres, chacune de ces fonctions générales se verra remplie par une multitude de formes différentes, aussi diverses que sur Terre. Si l'équivalent des oiseaux existe sur d'autres planètes, alors ces oiseaux auront des couleurs variées, comme sur Terre. Nous ignorons simplement quelles seront ces couleurs, ou s'il s'agira de « couleurs » à proprement parler, telles que vous et moi les percevons.

Au cas où vous seriez déçu de ne pas apprendre, grâce à ce livre, si les extraterrestres sont verts ou pas, sachez qu'il y a un avantage considérable à examiner la fonction avant d'envisager la forme. En fin de compte, la façon dont les extraterrestres s'adaptent à leur environnement et aux défis que ce dernier leur lance est plus intéressante que leur aspect physique. Ce sont ces adaptations comportementales qui sont les plus susceptibles d'être partagées : nous aurons probablement davantage de points communs avec des extraterrestres intelligents dans notre comportement que dans notre apparence. Dans ce chapitre, j'espère vous convaincre de l'utilité de cette distinction entre forme et fonction, et vous montrer pourquoi la fonction est à ce point essentielle. Dans cette optique, nous examinerons de plus près certains principes de la sélection naturelle et de l'évolution, ainsi que les raisons pour lesquelles ces principes s'appliqueront également sur d'autres planètes que la Terre.

La sélection naturelle pour tous !

L'existence de formes de vie complexes est bien plus difficile à expliquer qu'il n'y paraît. Elle semble contrevenir aux lois les plus implacables de la physique¹ : l'ordre tend au

1. En particulier, le premier principe de la thermodynamique : l'énergie ne peut pas être créée ou détruite (ce que traduit l'adage « on n'a

désordre, la complexité à la simplicité, l'information au non-sens. Tout comme une goutte d'encre se dilue irrémédiablement dans un verre d'eau, les bâtiments tombent en ruine et la chair se décompose. Définir la vie a toujours constitué un défi pour les philosophes ; mais toute définition devrait inclure cette propriété unique des êtres vivants qui est de combattre la tendance universelle au désordre : ne pas s'effondrer, ne pas se décomposer, ne pas mourir.

Ce qui nous ramène à notre problématique : étant donné que l'Univers semble prédisposé contre la vie, comment celle-ci peut-elle malgré tout perdurer ? Tout se passe comme si nous savions que les rochers ont toujours tendance à rouler en bas d'une pente, et que nous observions pourtant un rocher au sommet d'une colline. Comment est-il arrivé là ? Nous avons besoin d'une explication mécaniste qui clarifie, étape après étape, non seulement comment la vie peut exister, mais comment elle devient de plus en plus complexe – à l'inverse de ce que dictent les lois de la physique !

Commençons par écarter la possibilité qu'une forme de vie complexe soit apparue *ex nihilo* : en l'absence d'une forme de vie encore plus complexe qui en serait à l'origine, cette hypothèse est trop improbable. Et s'il s'avère qu'une divinité a effectivement créé un Univers entièrement abouti, nous ne pouvons alors absolument rien dire de la vie extraterrestre. Toutes les formes, les couleurs et les comportements des créatures extraterrestres ne seraient alors que le fruit de la fantaisie de leur créateur. En fait, selon Stephen Hawking, il serait possible de connaître la pensée de Dieu... à condition de bâtir une théorie unifiée de l'ensemble des lois de la physique¹. Nous en sommes encore très loin.

rien sans rien ») ; et le second principe de la thermodynamique : l'énergie utile ne fait que diminuer.

1. *Une brève histoire du temps : du Big Bang aux trous noirs*, de Stephen Hawking, Flammarion, 2020.

La vie commence donc par quelque chose de simple. Comment une forme de vie simple devient-elle plus complexe ? Sait-elle, par exemple, quel nouveau raffinement elle « souhaiterait » acquérir ? La réponse est bien évidemment négative. Nous concevons qu'un être humain puisse envisager de se greffer un bras bionique ; il est difficile d'imaginer qu'une cellule ou une molécule primitive soit dotée d'une telle capacité d'anticipation (nous en reparlerons au chapitre 9).

Il faut donc chercher ailleurs la « bonne » explication de la complexité de la vie : celle-ci doit tenir de façon autonome, c'est-à-dire qu'elle ne doit pas reposer sur des processus externes mal définis (comme l'intervention d'un dieu créateur) ni sur des processus invraisemblables (comme une molécule qui « sait » ce qu'elle veut devenir). La complexité doit émerger progressivement par elle-même ; le mécanisme à l'œuvre exclut donc nécessairement toute anticipation, sinon il ne pourra s'appliquer aux formes de vie les plus anciennes et les plus simples.

Même si nous acceptons notre ignorance sur la façon dont est apparue la première forme de vie, nous sommes tenus d'expliquer comment elle a pu devenir plus complexe. Comme presque tous les scientifiques actuels, je pense que la sélection naturelle est la réponse universelle. Elle est incontournable pour expliquer le fait que la vie sur Terre est plus complexe aujourd'hui qu'elle ne l'était lors de son apparition, il y a 3,5 milliards d'années. Mais qu'est-ce que la « sélection naturelle », et pourquoi devrait-elle être l'explication universelle de la vie complexe ?

Les principes généraux de la sélection naturelle sont faciles à comprendre. Des mutations aléatoires affectent le code génétique, modifiant certains traits chez les êtres vivants ; et les traits avantageux s'accumulent. Certains traits nouveaux perdureront au sein de l'espèce, d'autres non, mais les bonnes

idées développées par les générations précédentes ne sont pas oubliées.

Richard Dawkins a expliqué ce processus avec une belle simplicité dans son livre *L'Horloger aveugle*, en anglais *The Blind Watchmaker*. Imaginez que vous choisissiez au hasard une suite de vingt lettres, mettons SDFLKJFGOS-DIFHGSOFGH. Les chances de tomber sur une séquence particulière, comme « THE BLIND WATCHMAKER », sont infiniment faibles : une sur 42 milliards de milliards de milliards¹. Personne ne croit que l'ordre puisse naître aléatoirement du chaos.

Mais si, à chaque fois que vous apportez des modifications aléatoires à la séquence ci-dessus, vous conservez les modifications qui correspondent à la séquence voulue, soit « THE BLIND WATCHMAKER », votre progression prendra un tour complètement différent. Les bonnes innovations (changer par exemple le « S » initial par un « T », la première lettre du titre) ne disparaîtront pas ; et peu à peu, la meilleure séquence, c'est-à-dire la « bonne » séquence, se dessinera. De façon remarquable, avec cette approche de « sélection », la séquence correcte apparaît après seulement 540 tentatives, soit une amélioration d'un facteur d'environ 80 millions de milliards de milliards² !

Bien sûr, dans la nature, l'évolution ne vise pas de résultat prédéterminé. Il n'y a pas de « bonne » séquence génétique de son point de vue ; certaines sont toutefois plus avantageuses que d'autres pour les individus. Filtrés par la sélection naturelle, les changements avantageux s'accumulent au sein

1. Pour une séquence de vingt caractères, avec vingt-six lettres possibles plus le caractère « espace », le nombre de combinaisons possibles est de $27^{20} = 42\ 391\ 158\ 275\ 216\ 203\ 514\ 294\ 433\ 201$.

2. Le nombre moyen de tentatives nécessaires pour « corriger » une lettre est de vingt-sept (la lettre correcte étant l'un des vingt-sept caractères). Le nombre total de tentatives nécessaires pour corriger la séquence par ce procédé est donc $27 \times 20 = 540$.

de l'espèce, et la séquence s'améliore. Voilà le secret pour pousser un rocher au sommet d'une colline, quand celle-ci est équipée d'un escalier : monter les marches en faisant des haltes. Gravissez la colline petit à petit, en attendant à chaque palier de trouver le moyen de gravir la marche suivante. C'est ce que fait la sélection naturelle, de façon magnifiquement simple et évidente.

Mais peut-il y avoir une autre explication ?

La sélection naturelle a un statut tout à fait remarquable parmi nos théories : les scientifiques sont incapables de lui opposer des alternatives plausibles. Habituellement, lorsqu'ils cherchent l'explication d'un phénomène naturel, un certain nombre d'alternatives sont passées en revue, et la plus convaincante est provisoirement acceptée (jusqu'à ce que d'autres preuves les fassent éventuellement changer d'avis). La vision humaine, par exemple, pourrait procéder des rayons lumineux qui sont envoyés vers nous par les objets (c'est bien le cas), ou bien d'un faisceau sensoriel qui émane de nos yeux et vient toucher les objets (ce que croyaient certains philosophes de la Grèce antique). Ce sont deux hypothèses qu'il est raisonnable de prendre en considération avant que des expériences appropriées ne les départagent. Pendant une grande partie de la période classique, les conceptions d'une Terre plate et d'une Terre sphérique ont coexisté, chacune avec ses partisans et ses opposants, jusqu'à ce qu'Ératosthène réalise sa brillante expérience pour mesurer le rayon de la Terre (bel et bien ronde !) en 240 avant notre ère.

A contrario, les seules explications concurrentes à la sélection naturelle qui ont été suggérées sont profondément insatisfaisantes et non scientifiques. Pour commencer, nous avons l'hypothèse selon laquelle une divinité toute-puissante « guiderait » des changements individuels dans la morphologie et le comportement des créatures, les poussant ainsi sur la voie de l'évolution.

Dans le même ordre d'idées, certains ont imaginé l'existence d'une « force vitale » encore inconnue qui provoquerait des changements chez les espèces. Ou bien encore, la vie renferme peut-être en elle, dès sa création, le modèle de tous ses futurs développements ; il y aurait ainsi une sorte de « plan de construction pour humains » qui attendrait son heure à l'intérieur d'une bactérie... Mais ce ne sont là que des descriptions, et non de véritables explications de la façon dont la complexité surgit. Chaque culture humaine possède sa propre version du récit de la Création, et aucune ne peut être comparée aux autres de manière objective. Les histoires ne donnent pas d'explications ; or nous voulons trouver un mécanisme pour expliquer l'émergence d'une vie complexe, pas seulement un récit. Bref, toutes les idées qui ont été proposées sont descriptives plutôt qu'explicatives ; elles ne sont pas des concurrentes sérieuses à la sélection naturelle.

Alors, faut-il s'arrêter à cette explication ? Peut-être devrions-nous réfléchir davantage ; ou peut-être ne sommes-nous pas assez intelligents pour trouver une autre piste. « C'est la seule réponse qui me vient à l'esprit » n'est pas une démonstration rigoureuse de sa véracité... Mais, bien que l'absence d'alternatives ne soit pas une preuve, c'est tout au moins un signe que la sélection naturelle est probablement le bon candidat.

En outre, les analyses mathématiques tendent à indiquer que la sélection naturelle est, selon toute vraisemblance, la seule explication possible de l'émergence de la vie dans l'Univers ; et la démonstration du caractère inévitable de la sélection naturelle, en tant que mécanisme par lequel la vie a évolué, repose en grande partie sur des arguments mathématiques. Les équations sont un tantinet rébarbatives, mais pas les idées qui les sous-tendent.

L'une des descriptions mathématiques les plus complètes du comment et du pourquoi de l'évolution a été élaborée par un scientifique du siècle dernier, aussi remarquable que

méconnu : George Price. Il n'était ni biologiste ni mathématicien, mais chimiste. En collaboration avec deux géants de la théorie de l'évolution, John Maynard Smith¹ et Bill Hamilton, il a construit la description mathématique la plus complète des « moteurs » de l'évolution. Selon la légende, Price fut tellement frappé par le caractère implacable des forces de l'évolution que, reniant son athéisme militant, il se convertit au christianisme, donna tous ses biens et consacra le reste de sa vie à aider les sans-abri ; il aurait ensuite sombré dans une profonde dépression et mourut dans un squat².

L'équation de Price traduit les observations suivantes : au sein d'une même espèce, la mesure d'une caractéristique – la longueur des dents par exemple – fluctue d'un individu à l'autre ; et l'avantage conféré dépend de la longueur de dent. Dans une population donnée, les individus ont des dents plus ou moins longues. Bien qu'il puisse être avantageux d'avoir de grandes dents, il ne s'ensuit pas qu'un animal aux dents deux fois plus longues qu'un autre en retire deux fois plus d'avantages. Il s'agit plutôt d'une tendance : des dents plus longues tendent à procurer un avantage.

Price a montré mathématiquement que la vitesse à laquelle une caractéristique change dans le temps au sein d'une population (la vitesse à laquelle les descendants acquerront des dents de plus en plus longues) dépend de la « covariance » entre le trait en question et l'avantage qu'il procure ; en d'autres termes, de la relation étroite qui existe entre ladite caractéristique et l'avantage obtenu. Si doubler la longueur des dents a toujours pour conséquence le doublement de l'avantage, les dents longues se répandront dans la population comme une traînée de poudre. Si le lien est plus ténu, par

1. Voir *La Théorie de l'évolution*, de John Maynard Smith, Petite bibliothèque Payot, 1962.

2. *The Price Of Altruism: George Price and the Search for the Origins of Kindness*, de Oren Harman, W. W. Norton & Company, 2011.

exemple si une dent deux fois plus longue donne un avantage de dix pour cent, mais seulement dans la moitié des cas, alors le rythme de l'évolution sera plus lent.

On ne saurait trop insister sur l'importance du fait que les scientifiques sont désormais armés d'un modèle qui prévoit la progression de l'évolution. Et ce modèle ne fait aucune hypothèse liée à la planète Terre. L'équation de Price s'applique donc à toutes les exoplanètes habitées de la galaxie. Selon les mots du philosophe britannique Bertrand Russell : « J'aime les mathématiques en grande partie parce qu'elles ne sont pas humaines, et n'ont rien à voir avec cette planète ni avec tout l'Univers – et parce que, comme le Dieu de Spinoza, elles ne nous aiment pas en retour. »

Pour mieux visualiser les rouages mathématiques de la sélection naturelle, proposons une analogie. Imaginez que l'on vous dépose au milieu d'une zone montagneuse dans un épais brouillard, et qu'on vous ordonne de trouver votre chemin jusqu'au sommet d'une montagne. Le paysage qui vous entoure est appelé « paysage de fitness » (ou encore paysage adaptatif). Ce terme ne fait absolument pas référence aux salles de musculation ; la « fitness » évolutive (ou valeur sélective) est plutôt une mesure de l'efficacité avec laquelle vous transmettez vos propres gènes aux générations futures. Elle évalue non seulement votre capacité à survivre, mais aussi le nombre de vos descendants, leur capacité à avoir à leur tour des descendants, et ainsi de suite. Dans notre analogie, plus l'altitude de votre position est élevée, mieux vous êtes adapté à votre environnement et plus votre valeur sélective est élevée ; plus vous êtes proche du sommet, plus vos descendants seront nombreux à atteindre l'âge adulte.

Par quelle méthode allez-vous trouver le sommet ? Si vous êtes muni d'une carte ou si vous avez une vue dégagée sur la cime, vous vous dirigerez naturellement vers le bon endroit. Dans le cas contraire, la seule façon de trouver votre chemin est d'observer votre environnement, de repérer le sens de la

montée et de toujours grimper. Maintenant, si je vous demande de ne pas emprunter un chemin ascendant, mais de penser à une autre façon d'atteindre le sommet de la montagne, quelles possibilités s'offrent à vous ? Aucune. Vous pourriez essayer d'aller de-ci de-là au hasard, mais il est mathématiquement prouvé que cela est inefficace. Les petits pas, les améliorations localisées sont les seuls outils à votre disposition. La sélection naturelle ne fait pas autrement.

Bien sûr, rien n'est figé : la science est toujours ouverte aux découvertes, et des idées radicalement nouvelles renversent parfois les fondations théoriques que les scientifiques pensaient inébranlables. Personne ne s'offusquerait qu'une alternative à la sélection naturelle soit découverte ; mais ce n'est pas la même chose que d'affirmer qu'il « pourrait bien » y avoir une alternative. Admettre que notre compréhension de la physique est imparfaite ne nous amène pas à rejeter la physique quantique, sous prétexte que les fantômes et les fées « pourraient bien » exister. Il est toujours possible d'aligner des « peut-être » vides de sens, mais ils ne sont pas particulièrement utiles.

Le célèbre astronome britannique Fred Hoyle, qui a joué un grand rôle dans le développement de l'astronomie au XIX^e siècle, a également publié d'excellents ouvrages de science-fiction. *Le Nuage noir*, paru en 1957, n'est pas seulement un récit brillant et convaincant de ce que pourrait être la vie extraterrestre ; il rend aussi compte, de façon très réaliste, de la démarche adoptée par les scientifiques lorsqu'ils abordent l'inconnu. Dans ce livre, Hoyle imagine un nuage de gaz géant, de plusieurs centaines de milliers de kilomètres de diamètre, conscient et très intelligent. Il expose les raisons de son existence et le fonctionnement interne d'une telle créature ; et pourtant, plusieurs critiques soulignent la faiblesse de ses fondements biologiques. Hoyle a en effet omis de préciser l'histoire évolutive de ce nuage ! Quelles seraient les étapes