



SIR PAUL NURSE

Qu'est-ce que
la vie ?

Comprendre la biologie
en **5 leçons**



PRIX NOBEL DE MÉDECINE

ALISIO
SCIENCES

Nous sommes constamment entourés de vie : abondante, diverse et extraordinaire, elle ne cesse de nous surprendre. Mais savons-nous réellement ce que signifie être en vie ?

Sir Paul Nurse, lauréat du prix Nobel de médecine 2001, a passé sa carrière à répondre à cette interrogation. Dans cet ouvrage, il offre une plongée fascinante au cœur des grands concepts qui fondent la science du vivant. Du gène au traitement de l'information par les organismes vivants, en passant par la cellule, les processus de sélection naturelle et les réactions chimiques des êtres pluricellulaires, il nous présente les cinq grands éléments qui distinguent la vie de l'inanimé.

Un précis de biologie personnel et indispensable qui dévoile les captivants secrets de la vie et nous fournit un nouvel éclairage pour répondre aux enjeux climatiques, médicaux et humains de demain.



SIR PAUL NURSE a reçu un prix Nobel de médecine en 2001, ainsi que le prix mondial Albert Einstein pour la science et la Légion d'honneur française. Il a été conseiller du Premier ministre du Royaume-Uni pour les questions de science et de technologie, et a reçu plus de 60 diplômes honorifiques et bourses d'universités internationales. Il est actuellement directeur et chef de la direction de l'Institut Francis Crick de Londres. *Qu'est-ce que la vie ?*, traduit en 27 langues, est son dernier ouvrage.

ISBN : 978-2-37935-136-5



16,90 €
PRIX TTC
FRANCE

Rayon : Sciences, Essais

ALISIO
SCIENCES

**QU'EST-CE
QUE LA VIE ?**

ALISIO

L'éditeur des voix qui inspirent

Suivez notre actualité sur **www.alisio.fr**
et sur les réseaux sociaux LinkedIn,
Instagram, Facebook et Twitter !

Alisio s'engage pour une fabrication éco-responsable !

Notre mission : vous inspirer. Et comment le faire sans
participer à la construction du meilleur des futurs possible ?
C'est pourquoi nos ouvrages sont imprimés sur du papier
issu de forêts gérées durablement.

© Sir Paul Nurse, 2020

Première édition en 2020 par David Flicking Books,
31 Beaumont Street, Oxford, OX1 2NP, UK
Traduit de l'anglais (Royaume-Uni) par Sabine Rolland

Design de couverture : François Lamidon
Illustrations de couverture : Kudryashka © Shutterstock
Maquette : Sébastienne Ocampo
Suivi éditorial : Anne-Lise Martin

© 2021 Alisio,
une marque des éditions Leduc
10, place des Cinq-Martyrs-du-Lycée-Buffon
75015 Paris – France
ISBN : 978-2-37935-136-5

Paul Nurse

Paul Nurse est lauréat du prix Nobel
de physiologie ou médecine 2001

QU'EST-CE QUE LA VIE ?

COMPRENDRE LA BIOLOGIE
EN CINQ LEÇONS

ALISIO
SCIENCES

Abondante et diverse, la vie est tout autour de nous, et elle est extraordinaire. Mais qu'est-ce donc que le vivant ? Que signifie réellement être vivant ?

Lauréat du prix Nobel de physiologie ou médecine 2001, Paul Nurse a consacré toute sa carrière à l'étude du fonctionnement des cellules vivantes. Dans ce livre, il relève un sacré défi : celui de donner une définition de la vie compréhensible par tout le monde. C'est ainsi qu'il nous emmène à la découverte du monde vivant et, pas à pas, met en lumière les cinq théories phares de la biologie. En partant de sa propre curiosité et de son savoir, il nous montre comment la science fonctionne, au présent et au passé. Fort de ses expériences personnelles en laboratoire et sur le terrain, il nous fait partager ses difficultés, ses coups de chance et l'instant palpitant de la découverte.

Si nous, les humains, voulons relever les défis auxquels nous sommes confrontés aujourd'hui – du changement climatique à la sécurité alimentaire en passant par la perte de la biodiversité et les pandémies –, nous devons absolument comprendre ce qu'est la vie.

*À Andy Martynoga (Yog), qui est un ami
et comme un père pour moi ;
à mes petits-enfants Zoe, Joseph, Owen et Joshua,
ainsi qu'à toute leur génération, qui va devoir
prendre soin de la vie sur notre planète.*

SOMMAIRE

Introduction	13
1. La cellule	17
<i>L'atome de la biologie</i>	17
2. Le gène	27
<i>À l'épreuve du temps</i>	27
3. L'évolution par la sélection naturelle	51
<i>Hasard et nécessité</i>	51
4. La chimie du vivant	67
<i>L'ordre né du chaos</i>	67
5. Le vivant, tissu d'informations	91
<i>Un fonctionnement global</i>	91
Changer le monde	117
Qu'est-ce donc que la vie ?	135
Remerciements	151
Au sujet de l'auteur	153

INTRODUCTION

C'est sans doute un papillon qui, pour la première fois, m'a conduit à une réflexion sérieuse sur la biologie. C'était le début du printemps ; j'avais peut-être douze ou treize ans, et j'étais assis dans le jardin quand, soudain, un papillon jaune tout frétilant est arrivé près de moi après avoir franchi la clôture. Il a tourné et voltigé sur place avant de se poser brièvement – juste le temps que j'observe les nervures délicates et les taches subtiles sur ses ailes. Puis une ombre l'a dérangé et il est reparti, disparaissant au-dessus de la clôture d'en face. Sa complexité et sa forme parfaitement aboutie m'ont fait réfléchir. Ce papillon était totalement différent de moi et, pourtant, il m'était familier, d'une certaine manière. Comme moi, nul doute qu'il était vivant : il pouvait bouger, sentir, réagir, et semblait animé d'une *intention* particulière. Alors, je me suis surpris à me demander : Mais finalement c'est quoi, être vivant ? C'est quoi, la vie ?

J'ai réfléchi à cette question durant une grande partie de mon existence, mais il n'est pas facile d'y apporter une réponse satisfaisante. Le plus étonnant, sans doute, est qu'il n'existe pas de définition standard du vivant, alors que les scientifiques débattent de la question depuis des siècles. J'ai même emprunté impudemment le titre de ce livre – *Qu'est-ce que la vie ?* – au physicien autrichien Erwin Schrödinger qui, en 1944, publia un ouvrage phare sous ce titre. Schrödinger s'interrogeait sur un aspect essentiel de la vie, à savoir comment les êtres vivants pouvaient conserver un ordre et une cohérence aussi impressionnants de génération en génération dans un univers

qui, selon le second principe de la thermodynamique, tend constamment vers un état de désordre et de chaos. À juste titre, il voyait là une question fondamentale et il était convaincu que la compréhension de l'hérédité – c'est-à-dire de la nature des gènes et de la manière dont ils se transmettent fidèlement entre les générations d'êtres vivants – lui donnerait la clé de l'énigme.

Dans mon livre, je pose la même question – Qu'est-ce que la vie ? – sans croire toutefois que la réponse complète à cette question nous sera donnée par le seul déchiffrement des lois de l'hérédité. J'ai plutôt choisi de faire porter ma réflexion sur cinq théories phares de la biologie en les considérant comme des marches à gravir, une par une, pour obtenir une vision plus claire du fonctionnement de la vie. La plupart de ces différentes théories existent depuis un certain temps et font l'unanimité pour expliquer le fonctionnement des organismes vivants, mais je me propose de les réunir de manière inédite et de m'en servir pour développer un ensemble de grands principes qui définissent la vie. J'espère qu'elles vous aideront à considérer le vivant avec un regard neuf.

Avant d'entrer dans le vif du sujet, je tiens à préciser que nous, les biologistes, sommes souvent réticents à exposer de grandes idées, de grandes théories. À cet égard, nous sommes assez différents des physiciens. Nous donnons parfois l'impression de nous plonger plus aisément dans des détails, des catalogues et des descriptions, qu'il s'agisse de répertorier l'ensemble des espèces dans un habitat donné, de compter les poils sur la patte d'un coléoptère ou de séquencer des milliers de gènes. Peut-être que la diversité déroutante, voire vertigineuse, de la nature rend difficile la recherche de théories simples et d'idées synthétiques. Mais de grandes lois existent bel et bien en biologie, et elles nous aident à donner un sens à la vie dans toute sa complexité.

Les cinq grandes théories que je vais aborder avec vous sont les suivantes : 1) la cellule ; 2) le gène ; 3) l'évolution par la sélection naturelle ; 4) la chimie du vivant ; et 5) le vivant, tissu d'informations. Je vais non seulement vous expliquer d'où

elles viennent, pourquoi elles sont importantes et comment elles interagissent, mais aussi vous montrer qu'elles continuent d'évoluer, d'être affinées et approfondies, au fil des nouvelles découvertes des scientifiques du monde entier. J'aimerais également vous donner un aperçu de ce qu'est la recherche scientifique et de l'engagement qu'elle implique, c'est pourquoi je vais vous présenter les chercheurs à l'origine de ces avancées – j'en ai connu personnellement certains. Enfin, je vais vous raconter des histoires tirées de mes propres travaux de recherche en laboratoire, y compris les intuitions, les frustrations, les coups de chance et ces instants rares, mais ô combien merveilleux, où il nous vient une idée de génie. Mon objectif est ici de vous faire partager le frisson de la découverte scientifique et la satisfaction intense que l'on éprouve en comprenant mieux la nature.

L'activité humaine est en train de pousser notre climat et une grande partie des écosystèmes qui en dépendent jusqu'aux limites – voire au-delà – de ce qu'ils peuvent supporter. Si nous voulons maintenir la vie telle que nous la connaissons, nous allons avoir besoin de toutes les idées neuves que nous pouvons puiser dans l'étude du monde vivant. C'est la raison pour laquelle dans les années et les décennies à venir, la biologie va de plus en plus guider nos choix en matière de conditions de vie, de procréation, de ressources alimentaires, de santé et de lutte contre les pandémies. Je vais vous décrire certaines applications des connaissances biologiques, ainsi que les arbitrages épineux, les problèmes éthiques et les effets pervers auxquels elles peuvent donner lieu. Mais avant d'apporter notre pierre aux débats de plus en plus nombreux autour de ces questions, commençons par nous demander ce qu'est la vie et comment elle fonctionne.

Nous vivons dans un univers aussi vaste que grandiose, mais le vivant qui prospère dans un coin minuscule de ce grand tout constitue l'un de ses aspects les plus fascinants et les plus mystérieux. Les cinq théories présentées dans ce livre sont des étapes que nous allons franchir pour découvrir progressivement les grands principes de la vie sur Terre. Elles nous aideront aussi à réfléchir à la manière dont la vie est sans doute apparue sur

notre planète et à la forme qu'elle pourrait prendre ailleurs dans l'univers. Quel que soit le bagage avec lequel vous partez – et même si vous pensez ignorer tout, ou presque, de la science –, j'espère que lorsque vous refermerez ce livre, vous aurez mieux saisi ce qui nous relie tous – vous, moi, ce papillon jaune si délicat et toutes les autres créatures vivantes – aux quatre coins du globe.

Je souhaite qu'ensemble nous puissions continuer à avancer vers une meilleure compréhension de ce qui constitue l'essence même de la vie.

1.

LA CELLULE L'ATOME DE LA BIOLOGIE

J'ai vu ma première cellule à l'école, peu de temps après ma rencontre avec le papillon jaune. Les élèves de ma classe ont fait germer des plants d'oignons et écrasé leurs racines sous la lame d'un microscope pour observer de quoi elles étaient constituées. Notre professeur de biologie, Keith Neal, qui est à l'origine de ma vocation, nous avait expliqué que nous verrions des cellules, l'unité de base de la vie. En effet, elles étaient là, sous nos yeux : de belles rangées de cellules semblables à de petits compartiments, empilées en colonnes bien ordonnées. J'étais impressionné de penser que la croissance et la division de ces minuscules cellules suffisaient à enfoncer les racines d'un oignon dans le sol, à fournir à la plante l'eau, les nutriments et l'ancrage dont elle avait besoin pour pousser.

À mesure que j'en apprenais davantage sur les cellules, mon émerveillement ne faisait que croître. Les cellules offrent une incroyable variété de formes et de tailles. La plupart d'entre elles sont trop petites pour être visibles à l'œil nu – elles sont vraiment microscopiques. Les cellules individuelles d'une bactérie parasite susceptible de provoquer des infections urinaires peuvent être 3 000 alignées dans un espace de 1 millimètre. Au contraire, d'autres cellules sont énormes. Si vous mangez un œuf au petit-déjeuner, dites-vous que le jaune constitue une seule cellule.

Certaines cellules de notre corps sont tout aussi gigantesques. Par exemple, il existe des cellules nerveuses qui vont de la base de votre colonne vertébrale jusqu'à l'extrémité de votre gros orteil. Autrement dit, chacune peut mesurer environ 1 mètre de long !

Aussi étonnante que soit toute cette diversité, ce qui m'intéresse le plus, ce sont les points communs entre toutes les cellules. Les scientifiques cherchent toujours à identifier des unités fondamentales – l'unité de base de la matière, l'atome, en est le meilleur exemple. L'atome de la biologie est la cellule. Et la cellule est non seulement l'unité structurale de base de tous les organismes vivants, mais aussi l'unité fonctionnelle de base de la vie. Autrement dit, les cellules sont les plus petites entités à posséder les caractéristiques fondamentales de la vie. C'est le fondement de ce que les biologistes appellent la *théorie cellulaire* : à notre connaissance, tout ce qui vit sur cette planète est constitué, soit d'une seule cellule, soit d'un ensemble de cellules. La cellule est l'unité la plus élémentaire qu'on peut qualifier, avec une certitude absolue, de vivante.

La théorie cellulaire, qui date d'environ cent cinquante ans, est devenue l'une des pierres angulaires de la biologie. Au vu de son rôle majeur dans la compréhension de cette science du vivant, je suis surpris qu'elle n'ait pas suscité davantage l'intérêt du public. Sans doute parce qu'à l'école, la plupart des professeurs de biologie invitent leurs élèves à considérer les cellules comme de simples éléments constitutifs des organismes complexes, alors que la réalité est beaucoup plus enthousiasmante.

L'histoire de la cellule commence en 1665 avec Robert Hooke (1635-1703), membre de la toute jeune Royal Society de Londres, l'une des premières académies de sciences du monde. Comme souvent dans les disciplines scientifiques, une nouvelle technique est à l'origine de sa découverte. La plupart des cellules étant invisibles à l'œil nu, il a fallu attendre l'invention du microscope au début du XVII^e siècle pour pouvoir les observer. Les scientifiques sont souvent des théoriciens doublés d'artisans habiles, et c'était le cas de notre savant anglais, aussi à l'aise

dans l'exploration poussée de la physique, de l'architecture ou de la biologie que dans l'invention d'instruments scientifiques. Il fabriqua ses propres microscopes, avec lesquels il partit à la découverte des royaumes étranges de l'invisible.

Hooke commença par observer une mince couche de liège et vit que ce matériau était constitué de rangées de cavités délimitées par des parois, très semblables aux cellules des racines d'oignons que j'observerai à l'école trois siècles plus tard. Le savant baptisa ces cellules à partir du mot latin *cella* qui signifie « petite chambre », en référence aux cellules d'un monastère. À l'époque, il ignorait que les cellules qu'il avait dessinées n'étaient pas seulement les constituants élémentaires de tous les végétaux, mais aussi de l'ensemble du vivant.

Peu après Hooke, le chercheur néerlandais Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723) réalisa une autre observation capitale en découvrant la vie unicellulaire. Il détecta la présence d'organismes microscopiques au sein d'échantillons prélevés dans l'eau d'un étang et dans sa propre plaque dentaire, ce qui le perturba, lui qui était plutôt fier de son hygiène dentaire ! Il donna à ces êtres microscopiques le nom sympathique – inusité aujourd'hui – d'« animalcules ». Ceux qu'il voyait se multiplier entre ses dents étaient, en réalité, les premières bactéries jamais décrites. Le savant était tombé par hasard sur un univers inédit constitué de formes de vie unicellulaires microscopiques.

Nous savons aujourd'hui que les bactéries et d'autres types de micro-organismes (le terme général « micro-organisme » désigne l'ensemble des créatures microscopiques formées d'une seule cellule) sont, de loin, les formes de vie les plus répandues sur Terre. Ils colonisent tous les environnements, de la haute atmosphère aux profondeurs de la croûte terrestre. Sans eux, la vie s'arrêterait. Ils décomposent les déchets, construisent les sols, recyclent les nutriments et captent dans l'air l'azote dont les plantes et les animaux ont besoin pour se développer. Et lorsque les scientifiques se penchent sur le corps humain, ils trouvent un ratio d'au moins une cellule microbienne pour

une cellule humaine, alors que nous sommes constitués de quelque 30 000 milliards de cellules. Vous qui lisez ce livre, sachez que vous n'êtes pas une entité individuelle isolée, mais une énorme colonie en perpétuel changement constituée de cellules humaines et non humaines. Ces cellules de bactéries et de champignons microscopiques vivent sur nous et à l'intérieur de nous, et elles jouent un rôle dans la digestion des aliments et la lutte contre les maladies.

Pourtant, avant le XVII^e siècle, nul ne se doutait de l'existence de ces cellules invisibles, et on savait encore moins qu'elles fonctionnaient selon les mêmes principes fondamentaux que les formes de vie plus visibles.

Avec l'amélioration des microscopes et des techniques de microscopie au cours du XVIII^e siècle et au début du XIX^e, les scientifiques n'ont pas tardé à identifier les cellules de toutes sortes de créatures différentes. Certains ont commencé à avancer que l'ensemble des végétaux et des animaux étaient constitués d'un grand nombre de ces animalcules observés par Leeuwenhoek plusieurs générations auparavant. Puis, au bout d'un temps de gestation assez long, la théorie cellulaire a enfin pu émerger. En 1839, le botaniste Matthias Schleiden (1804-1881) et le zoologue Theodore Schwann (1810-1882) ont synthétisé leurs propres travaux et ceux de beaucoup d'autres chercheurs. Ils ont écrit : « Nous avons vu que tous les organismes sont constitués d'éléments fondamentalement similaires, à savoir les cellules. » La science était parvenue à la conclusion fort instructive que la cellule était l'unité structurale de base du vivant.

Cette théorie révolutionnaire a eu des implications encore plus fortes lorsque les biologistes ont constaté que chaque cellule était une forme de vie à part entière. Visionnaire, le médecin pathologiste allemand Rudolf Virchow (1821-1902) nota en 1858 : « Chaque animal représente une somme d'unités vitales dont chacune porte en elle les caractéristiques complètes de la vie. »

Qu'est-ce que cela signifie ? Que toutes les cellules sont vivantes. Les biologistes en apportent la preuve éclatante en prélevant des cellules sur des animaux ou des végétaux – des organismes multicellulaires – et en les conservant vivantes dans des récipients de verre ou de plastique, souvent à fond plat, telles les boîtes de Pétri. Certaines de ces lignées cellulaires sont cultivées en laboratoire aux quatre coins du monde depuis des décennies. Elles permettent aux chercheurs d'étudier les processus biologiques sans avoir à gérer la complexité d'organismes entiers. Les cellules sont actives ; elles sont capables de se déplacer et de réagir à l'environnement, et leurs contenus sont toujours en mouvement. Comparée à un organisme entier comme un animal ou une plante, une cellule peut paraître rudimentaire, mais elle est bel et bien vivante.

Toutefois, la théorie cellulaire formulée à l'origine par Schleiden et Schwann comportait une grosse lacune : elle ne décrivait pas comment naissent de nouvelles cellules. Cette lacune a été comblée lorsque les biologistes ont admis que les cellules se reproduisaient par division – une cellule se divise pour former deux cellules – et en ont conclu que toutes se formaient toujours par la division en deux d'une cellule préexistante. Virchow a popularisé cette idée avec la célèbre phrase *Omnis cellula e cellula*, c'est-à-dire toute cellule provient d'une cellule. Cette expression latine a également contribué à corriger l'idée fautive – mais encore répandue chez certains scientifiques de l'époque – selon laquelle la vie naît spontanément de la matière inerte, ce qui n'est pas le cas.

La division cellulaire est à la base de la croissance et du développement de l'ensemble des organismes vivants. Elle constitue la première étape décisive dans la transformation, chez l'animal, d'un œuf fécondé unique, appelé cellule-œuf, en un bouquet de cellules qui va donner naissance à un être vivant extrêmement complexe et organisé : l'embryon. Tout le processus commence par une seule cellule qui se divise et produit deux cellules totipotentes, c'est-à-dire capables de se différencier pour devenir n'importe quel type de cellules.

Le développement complet de l'embryon qui s'opère ensuite repose sur ce même processus : une série de divisions cellulaires, suivie de la formation d'un embryon à la structure de plus en plus complexe ; en effet, au cours de leur maturation, les cellules se transforment en tissus et en organes de plus en plus spécialisés. Autrement dit, tous les organismes vivants, indépendamment de leur taille ou de leur complexité, sont issus d'une cellule unique. Je pense que nous aurions davantage de respect à l'égard des cellules si nous gardions à l'esprit que nous étions toutes et tous, à l'origine, une seule cellule issue de la fusion entre un spermatozoïde et un ovule au moment de notre conception.

La division cellulaire explique également un processus assez miraculeux, en apparence : la manière dont notre corps s'auto-répare. Si vous vous coupez avec le bord de cette feuille, vous assisteriez à une division cellulaire localisée autour de votre coupure et chargée de réparer la blessure pour vous permettre de garder un corps sain. Malheureusement, les cancers sont le pendant négatif de la capacité de notre organisme à induire de nouveaux cycles de division cellulaire. Ils résultent de la prolifération et de la division incontrôlées de cellules anormales – dites malignes – capables d'altérer, voire de tuer l'organisme.

La croissance, la réparation, la dégénérescence et la malignité sont toutes liées à des modifications des propriétés de nos cellules ; elles déterminent la maladie ou la bonne santé, la jeunesse ou la vieillesse. D'ailleurs, la plupart des maladies sont imputables à une anomalie de fonctionnement des cellules, et la compréhension de ce dysfonctionnement nous permettra de mettre au point de nouvelles thérapies pour combattre la maladie.

La théorie cellulaire continue d'influencer l'orientation des recherches dans les sciences de la vie et la pratique médicale. Et je peux dire qu'elle a totalement façonné le cours de ma vie. Depuis le jour où j'ai eu un microscope sous le nez pour observer de plus près cette racine d'oignon, j'ai toujours été curieux de comprendre les cellules et leur fonctionnement. Et lorsque je suis

devenu chercheur en biologie, j'ai décidé d'étudier les cellules, notamment leur manière de se reproduire et de contrôler leur division.

Les premières cellules que j'ai examinées dans les années 1970 étaient des cellules de levure. Bien souvent, on pense que la levure ne sert qu'à fabriquer du vin, de la bière ou du pain, et qu'elle n'est d'aucune utilité pour aborder des questions biologiques fondamentales. En réalité, elle constitue un excellent modèle pour comprendre le fonctionnement des cellules d'organismes plus complexes. La levure est un champignon, mais ses cellules ressemblent étonnamment aux cellules végétales et animales. De plus, les levures sont de petite taille, de structure assez rudimentaire, et se multiplient à une grande vitesse et à moindre coût lorsqu'elles sont nourries de nutriments simples. En laboratoire, nous les cultivons soit en suspension dans un bouillon liquide, soit sur une couche de gelée dans une boîte de Pétri en plastique où elles forment des colonies de couleur crème de quelques millimètres de diamètre, chaque colonie renfermant plusieurs millions de cellules. Malgré, ou plutôt, grâce à leur simplicité, les cellules de levure nous ont aidés à comprendre le processus de division cellulaire dans la plupart des organismes vivants, y compris chez l'humain. Une grande partie de ce que nous savons des divisions cellulaires anarchiques des cellules cancéreuses provient de l'étude de ces modestes levures.

Les cellules sont l'unité de base de la vie. Ce sont des entités vivantes individuelles. Elles sont entourées d'une membrane constituée de lipides (graisses). Mais, tout comme les atomes contiennent des électrons et des protons, les cellules renferment, elles aussi, des composants plus petits. Les microscopes actuels sont extrêmement puissants, et les biologistes les utilisent pour mettre en évidence les structures complexes, et souvent très belles, présentes à l'intérieur des cellules. Les *organites* sont les structures les plus grosses, et chacun est entouré de sa propre membrane. Parmi ces organites figurent le *noyau*, véritable poste de commandement de la cellule puisqu'il renferme les instructions génétiques inscrites dans les chromosomes, ainsi

que les *mitochondries* – certaines cellules en contiennent des centaines –, qui fonctionnent comme des centrales électriques miniatures en fournissant à la cellule l'énergie dont elle a besoin pour se développer et survivre. Divers autres contenants et compartiments à l'intérieur des cellules remplissent des fonctions logistiques complexes : ils construisent, démolissent ou recyclent des morceaux de cellule, font entrer et sortir de la cellule différents matériaux et se chargent de les acheminer à différents endroits à l'intérieur de la cellule.

Toutefois, tous les organismes vivants ne possèdent pas des cellules aux structures internes complexes, renfermant des organites reliés par des membranes. La présence ou l'absence d'un noyau sépare le vivant en deux branches principales. Les organismes dont les cellules renferment un noyau – les animaux, les plantes et les champignons, notamment – sont appelés *eucaryotes*, tandis que ceux dont les cellules sont dépourvues de noyau sont dits *procaryotes*, et ce sont soit des bactéries, soit des archées. Les archées ressemblent aux bactéries par leur taille et leur structure, mais n'en sont que des cousines éloignées. À certains égards, leur fonctionnement moléculaire les rapproche plus d'eucaryotes comme nous que des bactéries.

Qu'une cellule soit eucaryote ou procaryote, elle possède un élément fondamental : la membrane qui l'enveloppe. Bien qu'elle ne mesure que deux molécules de graisse d'épaisseur, cette membrane externe forme une paroi ou une barrière flexible qui sépare chaque cellule de son environnement, déterminant ainsi ce qui est dedans et ce qui est dehors. Cette séparation est indispensable, tant d'un point de vue philosophique que pratique. En fin de compte, elle explique pourquoi les différentes formes de vie résistent avec succès à cette loi générale qui fait tendre l'univers vers le désordre et le chaos. À l'intérieur de sa membrane protectrice, la cellule peut établir et maintenir l'ordre dont elle a besoin pour fonctionner tout en créant le désordre dans son environnement extérieur proche. En ce sens, le vivant ne contredit pas le second principe de la thermodynamique.

Toutes les cellules sont capables de déceler des changements de leur milieu interne et des modifications du milieu extérieur, et d'y réagir. Ainsi, bien qu'elles soient séparées de leur environnement, elles communiquent étroitement avec lui. De plus, elles sont constamment en activité et travaillent à maintenir les conditions internes qui leur permettent de survivre et de se développer. Elles partagent ces caractéristiques avec des organismes vivants plus visibles, comme le papillon de mon enfance ou l'espèce humaine dont nous faisons partie.

D'ailleurs, les cellules partagent de nombreuses caractéristiques avec toutes sortes d'animaux, de plantes et de champignons. Elles croissent, se reproduisent et se maintiennent en vie et, en ce sens, manifestent une intention : la nécessité vitale de persévérer, de rester en vie et de se reproduire, quoi qu'il advienne. Toutes les cellules, depuis les bactéries que Leeuwenhoek découvrit entre ses dents jusqu'aux neurones qui vous permettent de lire ces mots, partagent ces caractéristiques avec tous les êtres vivants. C'est pourquoi comprendre le fonctionnement des cellules nous permet de mieux comprendre le fonctionnement du vivant en général.

Au cœur de l'existence de la cellule se trouvent les gènes, un monde que nous allons découvrir dans le prochain chapitre. Les gènes codent les instructions que chaque cellule utilise pour se construire et s'organiser, et se transmettent de génération en génération au moment de la reproduction des cellules et des organismes.

2.

LE GÈNE À L'ÉPREUVE DU TEMPS

J'ai deux filles et quatre petits-enfants, et ce qui est merveilleux, c'est qu'ils sont tous uniques. Par exemple, l'une de mes filles, Sarah, est productrice de télévision, alors que l'autre, Emily, est professeure de physique. Mais elles partagent aussi certaines caractéristiques entre elles, avec leurs enfants, avec ma femme, Anne, et avec moi. Les ressemblances familiales peuvent être fortes ou subtiles, qu'il s'agisse de la taille, de la couleur des yeux, de la courbe de la bouche ou du nez, voire de tics ou d'expressions faciales. Même si l'on observe de nombreuses variations, il existe bel et bien une continuité d'une génération à l'autre.

La présence de similitudes entre les parents et leur progéniture caractérise l'ensemble des organismes vivants. Aristote et d'autres penseurs classiques l'avaient déjà constaté en leur temps, mais les lois de l'hérédité biologique demeuraient entourées d'un épais mystère. Diverses explications ont été avancées au fil des années, dont certaines semblent aujourd'hui quelque peu étranges. Aristote, par exemple, pensait que les mères influençaient le développement des enfants qu'elles portaient dans leur ventre, de la même façon que les qualités d'un sol influençaient la croissance d'une plante à partir d'une graine. D'autres croyaient