



ÉRIC
KARSENTI

Aux sources
de la vie

De la cellule
à l'être humain

Champs sciences

ÉRIC KARSENTI

Aux sources de la vie

C'est d'une telle évidence que nous l'oublions souvent : chacun de nous est le fruit d'une unique cellule microscopique. Dès la fécondation, les divisions cellulaires s'enchaînent, des formes émergent et des membres surgissent. Comment une seule cellule peut-elle engendrer cette merveille de complexité ? Par quel « miracle » la vie est-elle apparue ?

Et pourquoi présente-t-elle une diversité aussi exubérante, des éléphants jusqu'aux insectes en passant par les bactéries et autres virus ?

En nous conviant à une odyssée scientifique dont il a été l'un des principaux acteurs, Éric Karsenti dévoile un formidable secret : la vie s'est auto-organisée. Dans la tradition d'un Stephen Jay Gould, il nous conte la façon dont le vivant s'est complexifié, depuis la première cellule jusqu'à la naissance de l'humanité.

Éric Karsenti est biologiste, médaille d'or du CNRS et membre de l'Académie des sciences. Il a été à l'origine des expéditions scientifiques de la Fondation Tara Océan.

En couverture : *Phacus helikoides*
© Steve Gschmeissner / Science Photo Library
/ Sciencephoto.fr

Flammarion

AUX SOURCES DE LA VIE

Éric Karsenti

AUX SOURCES DE LA VIE

De la cellule à l'être humain

Champs sciences

Remerciements

Je tiens à remercier Christian Counillon, mon éditeur chez Flammarion, qui a réussi à me mettre sur la bonne route avec diplomatie et gentillesse, ainsi que Jean-Jacques Perrier qui est parvenu à mettre de l'ordre dans ma pensée parfois confuse.

Dans un raccourci considérable, ce livre tente de donner une idée globale de la façon dont on peut concevoir à notre époque une notion aussi complexe que la vie. Je dois beaucoup à tous les collègues scientifiques, avec qui j'ai partagé le plaisir de chercher au cours de ces trente dernières années. J'en cite quelques-uns dans le livre, mais ils sont trop nombreux pour être tous mentionnés ici. Je veux simplement dire que j'ai une chance extraordinaire de vivre au sein d'une telle communauté.

Je tiens également à remercier tous les marins de la goélette *Tara* qui travaillent si dur, toujours avec un enthousiasme extraordinaire. Ils ont partagé notre passion pour la science et la découverte, et j'ai pris un immense plaisir à travailler avec eux. Je ne peux pas tous les citer non plus, il est aisé de retrouver leurs noms sur le site de Tara Expéditions.

Merci à Étienne Bourgois et Romain Troublé, respectivement président et directeur de Tara Expéditions, à Didier Velayoudon, qui m'a mis en relation avec Romain Troublé, et à Steffi Kandels-Lewis, qui a mené l'organisation du projet avec une main de fer – dans un gant de velours. Ce sont eux, avec le soutien sans faille d'*agnès b.*, qui ont permis à Tara Oceans de voir le jour.

Je remercie également les directions du CNRS, du CEA et de l'EMBL, qui soutiennent les initiatives risquées en science, ce qui devient de plus en plus rare.

Finalement, un grand merci à ma femme et à mes deux filles qui m'ont poussé et encouragé à écrire ce livre.

Les Éditions Flammarion remercient Jean-Jacques Perrier
pour l'aide fournie lors de l'élaboration du manuscrit.

© Flammarion, 2018.

© Flammarion, 2021, pour l'édition « Champs ».

ISBN : 978-2-0815-1106-4

Introduction

Le grand scientifique belge Ilya Prigogine, décédé en 2003, était connu comme un être insatiable, pianiste émérite, extraordinaire pédagogue et curieux de tout. Son appartement bruxellois fourmillait d'objets de toutes sortes : haches préhistoriques, bas-reliefs asiatiques, mystérieuses statues africaines, vases somptueux, et bien sûr quantité de livres. Chimiste et physicien, il avait reçu en 1977 le prix Nobel de chimie. Or loin de se focaliser sur la chimie, Prigogine s'intéressait notamment à la vie, à son apparition sur Terre il y a près de 4 milliards d'années. Il ne la voyait pas comme une conséquence du hasard, ni comme une création divine, mais comme une émergence de processus physico-chimiques.

« Si vous chauffez un liquide par en-dessous, il se produit des tourbillons dans lesquels des milliards de milliards de molécules se suivent l'une l'autre, écrivait-il. De même, un être vivant [...] est un ensemble de rythmes, tels le rythme cardiaque, le rythme hormonal, le rythme des ondes cérébrales, de division cellulaire, etc. Tous ces

rythmes ne sont possibles que parce que l'être vivant est loin de l'équilibre. Le non-équilibre, ce n'est pas du tout les tasses qui se cassent ; le non-équilibre, c'est la voie la plus extraordinaire que la nature ait inventée pour coordonner les phénomènes, pour rendre possibles des phénomènes complexes. Donc, loin d'être simplement un effet du hasard, les phénomènes de non-équilibre sont notre accès vers la complexité¹. »

Cette intuition est au cœur de ce livre. Biologiste, spécialiste de la cellule vivante – le « compartiment » fonctionnel de base de tous les organismes –, j'ai découvert progressivement, au fil de mes collaborations scientifiques, que les êtres vivants ne sont pas seulement des assemblages statiques de structures et d'organes répondant à des programmes dictés par les gènes, par l'ADN. Ils sont, bien au contraire, des « territoires dynamiques », toujours en mouvement, où une grande diversité de molécules interagit en permanence pour créer et ajuster des « fonctions », des activités en adéquation avec les contraintes de leur environnement immédiat. Cela m'a conduit à explorer la façon dont le vivant s'est complexifié depuis la première cellule vivante, apparue probablement dans l'océan primordial, jusqu'à la naissance de l'humanité.

Aujourd'hui, le temps nous manque souvent pour réfléchir à notre condition, à ce que nous sommes, d'où nous venons, à notre position dans l'Univers, à ce que nous lui faisons, à cet Univers, à commencer par notre magnifique planète bleue. Pourtant cette réflexion est essentielle pour vivre pleinement. Chacun gère à sa façon la complexité et la conscience de la mort. Certains par

la religion, d'autres par la connaissance rationnelle, une approche plus satisfaisante à mes yeux, quoique ce genre d'appréciation soit très personnel. Les scientifiques de la nature, ceux qui cherchent à comprendre l'Univers, qu'ils soient physiciens, chimistes, biologistes, mathématiciens, écologues, etc., sont tous, au fond, des mystiques. Ils se confrontent à l'immensité, mais aussi avec ce qui est caché au plus profond de nous-mêmes : nos origines au sein du monde physique qui nous a donné naissance.

Ce qui apparaît alors, c'est que la vie sur Terre est une forme complexe d'organisation de la matière et de l'énergie qui composent notre Univers. Cette organisation dynamique, et donc éphémère, tire son ordre de l'utilisation et de la dissipation d'énergie. En d'autres termes, la vie ne peut exister que dans un monde en déséquilibre énergétique, en « non-équilibre » comme l'écrivait Prigogine, fait de gradients d'énergie. Comme beaucoup d'autres chercheurs à la suite de ce dernier, j'estime que la vie est tout simplement une forme particulière de la matière et de l'énergie, un « phénomène » qui devait apparaître nécessairement dans notre Univers.

Ce nouveau regard sur le vivant est de plus en plus conforté par les observations et les expérimentations réalisées par les chercheurs, surtout quand ils travaillent de manière coopérative avec des scientifiques d'autres disciplines. Il a été rendu possible par les stupéfiants progrès technologiques accomplis depuis trente ans, notamment en microscopie, en imagerie et en informatique. Les chercheurs parviennent désormais à scruter des détails morphologiques incroyables à l'intérieur des cellules, et

même des réactions chimiques. Les molécules clés et les structures qui sont à la base des diverses formes cellulaires ont été identifiées et leur fonctionnement en grande partie élucidé. Les mouvements cellulaires qui se produisent au cours du développement de l'embryon sont filmés seconde par seconde, les signaux chimiques émis dans les trois dimensions par différentes parties de l'embryon en développement sont cartographiés. À plus grande échelle, les méthodes d'imagerie et de séquençage de l'ADN permettent d'analyser la composition des écosystèmes, dans les océans notamment.

L'ensemble de ces observations concourent à prendre conscience d'une information capitale : les interactions permanentes des molécules et des organismes forment une dynamique de changement. Ainsi, les organismes océaniques qui nous ont précédés sur Terre pendant près de 4 milliards d'années se sont complexifiés progressivement par le jeu d'une diversification des gènes et des protéines, associée à toute une série d'événements symbiotiques et d'interactions des différents royaumes de la vie.

Ce livre raconte l'histoire de cette complexification. Au fil des pages vous redécouvrirez des scientifiques parfois oubliés, mais tous intuitifs, aventureux, visionnaires. Depuis l'évolution précoce de la vie dans l'océan primitif jusqu'au fonctionnement intime des mouvements moléculaires qui font marcher les cellules et des organes aussi incroyables que l'œil ou le cœur, en passant par les mécanismes qui font communiquer les cellules avec leur environnement, vous verrez que des théories reliant la

physique au vivant définissent les principes d'une « auto-organisation » de la matière en formes complexes. Les bases d'une description théorique unifiée de la vie sont ainsi posées. Bonne lecture !

1

L'embryon des possibles

La grossesse est un moment assez déroutant : le corps de la mère change, ses seins gonflent, son ventre s'arrondit... Aucun de nous n'est vraiment préparé à ce qu'il se passe. Tout d'un coup quelque chose bouge dans ce ventre, on entend des battements de cœur, une forme émerge de la grisaille de l'échographie, pas tout à fait un être humain mais plutôt un têtard, puis la tête grossit, les membres apparaissent, disproportionnés...

Personnellement, même si les mouvements du fœtus me faisaient un effet bizarre au toucher, j'ai vécu les grossesses de ma femme comme une période magique et merveilleuse – y compris l'accouchement, expérience plutôt dantesque ! Pour la mère, un lien très fort s'établit avec ce petit être qui pousse dans son ventre, et le père se sent pousser des ailes. Il y a de quoi : prodige de complexité et d'organisation, le fœtus contient en lui des milliards d'années d'évolution, de transformation de la matière vivante en relation avec l'évolution de notre planète. Or ce morceau d'univers, ce concentré du temps, bouge ! Des mouvements considérables s'y déroulent et

le font grossir. Point à peine visible, il devient un être d'une grande complexité, qui sera capable par la suite de fabriquer des formules mathématiques décrivant l'univers, d'échapper à sa planète natale et de forger des créations artistiques étonnantes.

On a bien raison d'avoir la tête dans les étoiles quand on devient papa ou maman ! En fait, cette merveille nous turlupine tous, et avec elle quelques petites questions lancinantes : que sommes-nous ? Quelle est la force ou le « grand architecte » qui nous fabrique ?

Un éternel recommencement

L'idée qu'un organisme puisse être conçu et croître dans le ventre d'une mère n'est pas si simple à accepter. Ce qui nous paraît évident aujourd'hui ne l'a pas toujours été ! Deux théories ont longtemps été en concurrence : celle de la préformation affirmait qu'un petit d'Homme est déjà présent en miniature, avec tous ses organes, dans l'une des cellules sexuelles, le spermatozoïde ou l'ovule, et qu'il ne fait que grandir pour reformer un adulte. La théorie dite de l'épigenèse proposait au contraire que l'organisme est formé *de novo* à chaque conception. Il semble que cette discussion remonte aux V^e et IV^e siècle av. J.-C., en Grèce. Anaxagore, vers - 450, estime que le sperme contient le futur individu. Aristote, cent ans plus tard, penche pour l'épigenèse. L'église a favorisé la théorie de la préformation, par cohérence avec le dogme de la Création. À l'inverse, dans les milieux scientifiques et philosophiques, l'épigenèse a dominé, en

partie par respect pour la stature d'Aristote, et aussi par logique intuitive, même si de grands savants comme Buffon et Cuvier s'y sont opposés.

Pour les tenants de la première thèse, la grande question était de savoir si l'être préformé se situait dans le sperme ou dans l'ovule. Évidemment, on ne peut avoir deux organismes préformés, un petit père... et une petite mère, et finalement n'en faire qu'un ! Deux amis vivant à Delft, aux Pays-Bas, dans les années 1660-1670 symbolisent cette dispute : Reinier de Graaf, médecin de son état, et Antoni van Leeuwenhoek, pionnier de la fabrication de microscopes. Le premier, qui mourra à 32 ans, en 1673, est un partisan de l'ovisme, la théorie dominante : l'organisme se propagerait par la cellule sexuelle femelle, l'ovule ou ovocyte². Le sperme n'aurait pour fonction que « d'animer l'embryon à distance » ou serait une sorte « d'essence vitale ». De Graaf croyait ainsi voir un embryon tout formé dans des sortes de sacs renfermés dans les ovaires, les follicules ovariens, qu'il avait découverts (et qui portent son nom), alors qu'ils contiennent chacun un ovocyte.

Animalcules et homoncules

Un an après la mort de son ami, Leeuwenhoek observe pour la première fois des cellules, des globules rouges et des infusoires, grâce au microscope qu'il a lui-même construit. Il les nomme des « animalcules ». Trois ans plus tard, il fait une observation inédite qu'il raconte ainsi à la Royal Society de Londres : « Ce que j'ai

observé, sans me comporter de façon coupable, était présent dans le résidu d'un coït conjugal. Si votre Excellence considérait que ces observations sont susceptibles de dégoûter ou scandaliser les savants, je prie ardemment votre Excellence de les tenir pour privées et de les publier ou de les détruire selon ce qui lui paraîtra convenable. » Les savants peuvent s'y prendre parfois de façon bien étrange ! Fort heureusement, l'Excellence adjurée n'a pas jugé bon de détruire ces observations, qui décrivaient en l'occurrence des spermatozoïdes !

Pour Leeuwenhoek et l'école des « spermistes », le petit organisme se trouve en fait justement dans cette cellule mâle. Quant à l'ovule, il ne servirait qu'à nourrir la croissance de l'embryon spermatique – opinion symétrique à celle de l'ovisme. En 1694, Nicolas Hartsoeker, ex-assistant de Leeuwenhoek, décrit ainsi un « homuncule » (*Homunculus*), un petit homme, dans le spermatozoïde – bien qu'il ne l'ait pas directement observé³.

Ces deux théories de la préformation autrefois en vogue ont fini par céder la place à la thèse de l'épigenèse. Il a fallu du temps. Pourtant, au XVII^e siècle, des arguments évidents s'opposaient à la préformation, le plus simple étant que les enfants des parents ne sont jamais identiques à leur père ou à leur mère. Au XVIII^e siècle, les arguments anti-préformation vont s'accumuler : en 1745, le naturaliste Pierre-Louis Moreau de Maupertuis souligne que l'enfant d'un parent noir et d'un parent blanc n'est ni noir ni blanc, mais bien entre les deux ! Chaque parent contribue donc à la conception de l'enfant. En 1759, l'Allemand Caspar Friedrich Wolff

que la tête seroit peut-être plus grande à proportion du reste du corps, qu'on ne l'a dessinée icy.

ART. XC.
Ce que c'est
que l'œuf de
la femme, &
comment un
enfant vient
ordinairement
au monde.

Au reste, l'œuf n'est à proprement parler que ce qu'on appelle *placenta*, dont l'enfant, après y avoir demeuré un certain temps tout courbé & comme en peloton, brise en s'étendant & en s'allongeant le plus qu'il peut, les membranes qui le couvroient, & posant ses pieds contre le *placenta*, qui reste attaché au fond de la matrice, se pousse ainsi avec la tête hors de sa prison; en quoi il est aidé par la mere, qui agitée par la douleur qu'elle en sent, pousse le fond de la matrice en bas, & donne par conséquent d'autant plus d'occasion à cet enfant de se pousser dehors & de venir ainsi au monde.

L'expérience nous apprend que beaucoup d'animaux forment à peu près de cette manière des œufs qui les renferment.

ART. XCI.
Que l'on peut
pousser bien
plus loin cette
nouvelle pen-
sée de la gene-
ration, &
comment.

L'on peut pousser bien plus loin cette nouvelle pensée de la generation, & dire que chacun de ces animaux mâles, renferme lui-même une infinité d'autres



1. Reproduction du dessin de l'*Homunculus* en regard du texte de Nicolas Hartsoeker dans son *Essai de dioptrique* (1694). Il y propose qu'un petit humain tout formé est déjà présent dans le spermatozoïde.

observe que les organes se fabriquent à partir de cellules primitives en passant par des formes intermédiaires.

Naviguer en mer inconnue

Finalement, en 1830, Karl Ernst von Baer, Russo-allemand originaire d'Estonie, décrit en détail la complexité du développement embryonnaire. Il identifie l'apparition précoce de trois « feuillets », des couches de cellules qui, en se repliant, forment les organes, puis l'organisme tout entier. Chez des espèces différentes, les formes précoces par lesquelles passent les embryons pendant la fabrication d'un animal adulte sont universelles, observe-t-il. Cependant, le développement embryonnaire suit ensuite des voies divergentes, avec pour résultat la diversité de formes des espèces.

Vu de notre époque, cette étude d'un phénomène du vivant aussi crucial que le développement des embryons peut sembler bien étrange, car pleine de contradictions, d'affirmations et de démentis. En réalité, elle est typique de la façon de fonctionner de la science. J'ai commencé à en prendre conscience en... naviguant. Vers l'âge de 20 ans, je suis devenu chef de bord sur des voiliers écoles, pendant les vacances en Bretagne. En principe, on apprend à faire des calculs précis pour naviguer. Je n'ai jamais procédé de cette façon. J'utilisais l'« estime » : il me suffisait d'avoir un compas, qui définit le cap du bateau par rapport au Nord magnétique, un loch, qui donne la distance parcourue et éventuellement la vitesse, et... une montre. S'y ajoutaient tout de même un sondeur, pour

positionner le bateau par rapport aux lignes de sonde des cartes – qui relient les zones de même profondeur –, et des cartes de courant. J'indiquais au fur et à mesure sur la carte la direction précédemment suivie et j'en déduisais la direction à suivre en fonction du point d'arrivée.

Or cette méthode « au pif » a toujours fonctionné, même dans la brume et après avoir tiré de nombreux bords. Cela n'a en réalité rien de mystérieux : avec relativement peu d'informations, même imprécises, le cerveau humain calcule en permanence, de façon inconsciente, des corrélations entre des paramètres ; il évalue et compare, et en tire des déductions. Évidemment, il arrive qu'il se trompe – depuis l'apparition du GPS, je n'utilise d'ailleurs plus l'estime : bien des navires se sont perdus, et il suffit d'une fois !

Vous ne naviguez pas ? Imaginez que vous doubliez une voiture sur l'autoroute. Un vent de travers fait osciller les deux voitures latéralement. Comment faites-vous pour gouverner avec précision dans ce ballet où tout se passe à la seconde près ? Vous ne résolvez pas consciemment une série d'équations différentielles probabilistes décrivant le parcours aléatoire des deux véhicules... Non, votre cerveau simule très rapidement ce qui va se passer dans les secondes qui viennent, en utilisant vos sens en temps réel. En clair, vous faites marcher votre intuition, ce sens instinctif qui nous permet de pressentir, d'entrevoir ou de saisir plus ou moins clairement un phénomène ou quelque chose d'inconnu, sans passer par l'analyse, le raisonnement ou la réflexion.

L'errance et la lumière

Beaucoup de scientifiques refusent de reconnaître l'importance de l'intuition – elle ne fait pas très sérieux. Pourtant, la science ressemble beaucoup à la navigation à l'ancienne. Dans son livre *Les Somnambules* (1960)⁴, l'écrivain britannique d'origine hongroise Arthur Koestler (1905-1983) raconte superbement le vagabondage conceptuel des scientifiques depuis les Grecs jusqu'à Copernic et Newton. Il décrit comment ils ont tenté, au cours des siècles, de comprendre le système solaire. Comme des somnambules, ces savants philosophes ont erré au gré de leurs observations, de leurs intuitions – parfois semblables à des hallucinations – et des contraintes des mathématiques et de la physique. Après bien des erreurs, des fausses routes, ils ont abouti à des découvertes stables remarquables. Effectivement la connaissance scientifique progresse à l'échelle des siècles selon ce schéma. Il s'agit bien de progrès, car chaque génération construit sur ce qu'est parvenu à comprendre la précédente.

La même « errance » fonctionne dans la recherche sur le monde vivant. Les chercheurs ont souvent la sensation de « tirer des bords » autour du réel, d'avancer dans le brouillard. Ils progressent à tâtons, lèvent une petite partie du voile, sécurisent leurs résultats puis retournent à la tâche. Lorsqu'un scientifique ou un philosophe s'interroge, par exemple, sur l'origine de la vie ou la formation d'un embryon, il commence par « imaginer » des « possibles », des explications, des suites logiques. Puis il formule des hypothèses. Certains se fourvoient alors que

d'autres « voient » clairement la bonne solution. En fin de compte, l'expérimentation et la logique mènent à une compréhension solide et efficace du problème, ce qui permet ensuite d'aller plus loin. Cependant, sans l'intuition initiale, rien ne serait possible.

Cet état au bord de l'incertitude génère de l'adrénaline, il est addictif. Les vrais scientifiques, ceux qui nagent dans l'inconnu prennent tous des risques, mais contrôlés. La navigation à l'estime apprend justement à minimiser le risque, en s'exposant le moins possible aux aléas ! Or en navigation, comme en sciences, voilà finalement le plus excitant : douter sans arrêt, se tromper parfois, errer, mais... arriver ! Le chercheur chemine dans un labyrinthe jusqu'à ce que soudain, tout s'éclaire : il est arrivé quelque part... Pour un temps.

Des embryons marqués par l'évolution du vivant

Comme un navire soumis aux vents et aux aléas, ce labyrinthe n'est toutefois pas étanche. Il est ouvert sur la société et en subit les influences ; inversement, certains travaux scientifiques imprègnent les consciences pour des générations. Prenons le cas d'un autre grand biologiste allemand de la fin du XIX^e siècle : Ernst Haeckel, médecin et anatomiste à l'université d'Iéna, en Prusse, par ailleurs père de l'écologie scientifique. En 1860, il lit la traduction allemande de *L'Origine des espèces au moyen de la sélection naturelle, ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie*, ouvrage paru un an auparavant⁵. Le Britannique Charles Darwin y montre que les

espèces vivantes sont toutes parentes, qu'elles descendent d'un ancêtre commun par le jeu de variations de leurs caractères et de la sélection naturelle, qui préserve les variations avantageuses.

Le livre heurtait de plein fouet la religion chrétienne en place en Europe, partisane du fixisme des espèces, créées par Dieu. Darwin avait donc soigneusement argumenté son propos. Il consacrait ainsi plusieurs pages aux ressemblances entre embryons d'espèces différentes, observation remontant aux années 1830. Les embryons précoces d'espèces aussi diverses que les poissons, les oiseaux et les humains se ressemblent. Cette ressemblance constituait un argument en faveur de sa théorie : « Lorsque deux ou plusieurs groupes d'animaux, quelque différentes que puissent être d'ailleurs leur conformation et leurs habitudes à l'état d'adulte, traversent des phases embryonnaires très semblables, nous pouvons être certains qu'ils descendent d'un ancêtre commun et qu'ils sont, par conséquent, unis étroitement les uns aux autres par un lien de parenté. » (traduction de la 6^e édition par Edmond Barbier, 1876)

Haeckel est un dessinateur hors pair et il va donner une répercussion considérable à l'argument darwinien dans plusieurs livres publiés à partir de 1866, grâce à ses dessins. Il voit dans la succession des formes de l'embryon, au cours de son développement, une sorte de récapitulation de l'évolution : chaque embryon se développerait en passant par les stades des organismes ancestraux. Par exemple, le développement d'un oiseau passerait par les étapes embryonnaires de ses ancêtres poissons : il aurait des branchies, avant de les perdre au cours du développement ultérieur. Pourquoi pas ? Cette

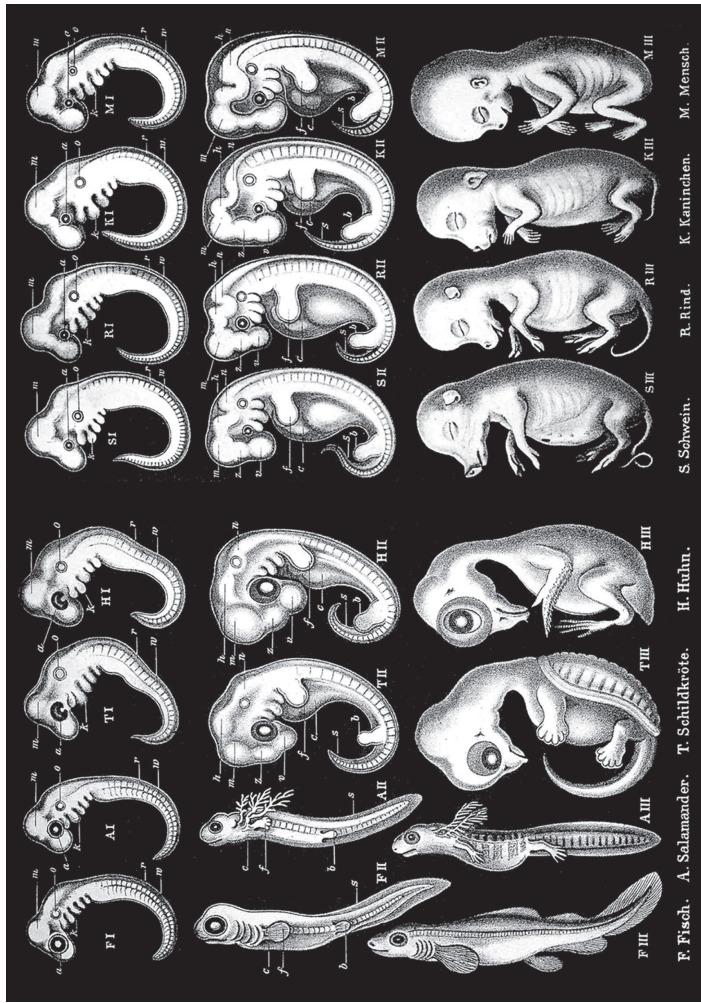
théorie de la récapitulation, associée aux images spectaculaires qu'elle propose (p. suivante), a été reprise durant des décennies dans quantité de livres scolaires et grand public.

Toutefois, Haeckel a quelque peu exagéré, dans ses dessins, les ressemblances entre les formes embryonnaires qui l'arrangeaient, pour mieux les rendre visibles et comparables par ses lecteurs. Dans les années 1870, des collègues universitaires l'attaquèrent pour cela et il fut même accusé de fraude. Plus récemment, les créationnistes américains ont récupéré ces accusations pour discréditer la réalité de l'évolution.

Effectivement, les similitudes embryonnaires ne récapitulent pas la succession de l'apparition des espèces au cours de l'évolution, et la théorie d'Haeckel a été scientifiquement démentie. La règle compte trop d'exceptions. Cependant, Haeckel a mis le doigt sur une réalité : le développement embryonnaire est « canalisé » ; il suit des voies communes au sein des grandes branches du vivant, avant de diverger. Des contraintes s'exercent, comme si les chemins étaient limités, mais avec des points de bifurcation possibles vers de nouvelles formes. Finalement, Darwin et Haeckel avaient bien raison, nous sommes tous unis... mais pas vraiment par descendance comme nous le verrons tout au long de ce livre... Plutôt par des contraintes physiques.

Des êtres auto-organisés ?

Tous les scientifiques dont nous venons de partager les vagabondages – pour reprendre la métaphore d'Arthur



2. Dessins de Haeckel montrant que les embryons de différentes espèces présentent des similitudes (du poisson, à gauche, à l'homme, à droite). Ces dessins étaient supposés illustrer que chaque embryon se développe en passant par les stades d'organismes ancestraux. Mais Haeckel avait un peu arrangé les choses et en fait, sa théorie n'a pas tenu.

Koestler – étaient des « expérimentalistes ». Ils cherchaient à comprendre comment un organisme se forme en obtenant des informations visuelles par l'observation, et en cherchant des « mécanismes » explicatifs. Une approche importante et essentielle en science.

De leur côté, les philosophes ont abordé la question de la formation des organismes vivants d'une autre manière, plutôt théorique et logique. Nous sommes tous des « fins », l'aboutissement de la mystérieuse organisation de la matière vivante – en tout cas avant l'issue ultime. Mais alors, qu'est-ce qui cause ces fins ? Au XVIII^e siècle, l'Allemand Emmanuel Kant a posé la question fondamentale de la causalité – des causes et de leurs effets – et tenté de résoudre le problème de circularité entre la poule et l'œuf – qui est venu en premier, l'œuf ou la poule ?

Dans la deuxième partie de son livre *Critique de la faculté de juger*, publié en 1790⁶, Kant écrit : un « être organisé et s'organisant lui-même, dans lequel toute partie, tout de même qu'elle [bien qu'elle] n'existe que par toutes les autres, est aussi conçue comme existant pour les autres parties et pour le tout ». Du jargon de l'époque ! Néanmoins, pour la première fois un philosophe sort de la logique du « grand architecte » créateur et ordonnateur du vivant tout en laissant entendre que les lois mécaniques classiques ne s'appliquent pas au vivant. Il met le doigt sur une caractéristique de tout être vivant que la biologie des siècles suivants mettra progressivement au jour : l'auto-organisation, la capacité des organismes à s'organiser selon des causes internes.

La fin est le vivant lui-même, et non une fin extérieure préétablie par le créateur.

L'idée d'auto-organisation a conduit Kant à conclure qu'il faudrait, pour comprendre la vie, une sorte de « nouvelle science » capable de s'abstraire des concepts de causalité linéaire. C'est ce dont nous allons discuter dans la suite de ce livre.

2

Une histoire de transmission

Le Laboratoire européen de biologie moléculaire (EMBL, www.embl.de) est une organisation scientifique fondée en 1974, qui rassemble plus de 80 groupes de recherche à Heidelberg, Hambourg, Barcelone, Grenoble, Hinxton et Rome. Sa création doit beaucoup à trois chercheurs de renom, le physicien hongro-américain Leó Szilárd et les biologistes britanniques James Watson et John Kendrew, tous deux prix Nobel. Leur idée était de contrebalancer l'hégémonie des États-Unis en biologie moléculaire en créant dans ce domaine l'équivalent du CERN, le centre européen pour la recherche nucléaire, fondé vingt ans auparavant et devenu le plus grand laboratoire de physique des particules.

Après ma thèse de doctorat réalisée à l'Institut Pasteur, à Paris, j'ai effectué la plus grande partie de mes recherches précisément à l'EMBL d'Heidelberg. Quand j'y suis arrivé, en 1985, j'ai été impressionné par l'atmosphère électrique, à la fois exigeante et décontractée, qui y régnait. En fait, l'endroit était déjà terriblement élitiste : tout le monde était scrupuleusement sélectionné,