

JOËL DE ROSNAY
en collaboration avec
FABRICE PAPILLON

ET L'HOMME CRÉA LA VIE...

LA FOLLE AVENTURE
DES ARCHITECTES
ET DES BRICOLEURS
DU VIVANT

BABEL

Prologue

Samedi 16 juin 2018. Un garage de Palo Alto, en Californie. Quatre étudiants de l'université de Stanford, Leslie, Sacha, Indira et Shinya, s'affairent autour de leur dernière création vivante : un souriceau fluorescent et transparent, d'un magnifique vert turquoise, nage au fond de son bocal de verre. L'un des jeunes immortalise le ballet de cette étrange souris aquatique et s'apprête à télécharger la vidéo sur YouTube à l'aide de son iPhone 5G. Les étudiants ont équipé un garage familial de matériels et de réactifs performants, dont une machine à synthétiser les gènes achetée d'occasion sur eBay. La petite souris, dont ils sont si fiers, est dotée de branchies, de nageoires et d'une queue de poisson. Elle est produite par clonage selon la méthode mise au point en juillet 2009 par une équipe chinoise de l'université de Pékin, et qui a fait sensation dans le monde scientifique.

Les chercheurs avaient en effet fabriqué, à partir d'une seule cellule de souris adulte transformée en cellule embryonnaire, un petit rongeur bien vivant baptisé Xiao Xiao. Les étudiants de Stanford, dont le groupe répond au nom de Biohackers Alpha 3, ont suivi le même protocole,

mais en l'adaptant aux techniques propres à la toute nouvelle biologie de synthèse.

Leur recette : à l'intérieur d'une cellule de souris adulte transformée en cellule embryonnaire, ils ont introduit des gènes synthétiques dont les codes, empruntés à des poissons, à des grenouilles et à des vers lumineux, avaient été tout simplement téléchargés sur Internet sous forme de *cassettes ADN* ou de *biobricks* – jargon des *biohackers* pour désigner des séquences entières de gènes contrôlant des fonctions biologiques précises et disponibles gratuitement en *open source* sur Internet.

Grâce à leur machine à synthétiser les gènes, les étudiants ont produit des séquences génétiques biologiquement fonctionnelles et les ont introduites dans leur précieuse et unique cellule embryonnaire de souris. Il ne restait plus qu'à injecter cette cellule dans la boule microscopique formée d'une centaine de cellules, à l'origine de tout embryon normal de souris, puis d'implanter cette boule, ainsi modifiée, dans l'utérus d'une souris porteuse. Après le temps de la gestation, la petite souris vert fluo est née, aussitôt prénommée MFF pour *Mickey Fish Frog* (souris-poisson-grenouille).

Après avoir chargé leur film sur YouTube et s'être inscrits au concours international iGEM 2019, les membres du groupe Biohackers Alpha 3 sont assaillis par les journalistes :

« Pourquoi avez-vous créé cette souris chimérique ?

— *Because it was so easy and so much fun!* » (« Parce que c'était si facile et trop marrant ! ») répondent-ils avec de larges sourires.

Cette histoire, quoique futuriste, est parfaitement plausible. Elle se déroulera sans doute dans moins d'une décennie. Les outils, les procédés, les nanobiotechnologies et les techniques bio-informatiques existent déjà. Les *cassettes ADN* et les *biobricks* circulent librement sur

PROLOGUE

Internet au grand dam de l'industrie pharmaceutique. Nous assistons à l'explosion d'une science encore inconnue du grand public : la biologie de synthèse, parée d'un cortège de problèmes éthiques et de nouveaux risques industriels, économiques et écologiques.

Introduction

C'est peut-être ainsi que l'homme créera la vie. De nouvelles vies qui n'ont rien à voir avec celles que nous connaissons. Au-delà des espoirs suscités par certaines découvertes spectaculaires de ces dernières années, la discipline naissante, qui se nomme « biologie de synthèse », ranime les mythes et les légendes qui bercent ou hantent nos imaginations. Un territoire encore mal connu s'ouvre à l'exploration des hommes. Que vont-ils y découvrir ? De nombreux scientifiques dans le monde, mais aussi des philosophes, des sociologues, des politiques, débattent déjà des promesses, des défis et des dangers de cette nouvelle biologie. Depuis Pasteur et la réfutation de la théorie de la génération spontanée, il semblait impossible de synthétiser la vie à partir de produits chimiques inertes, ou même de fabriquer une machine vivante capable de se reproduire, de transformer l'énergie et d'évoluer.

Pourtant, les hommes vont disposer du pouvoir insigne ou exorbitant d'intervenir dans l'écriture même de la vie et d'en modifier les espèces. Et cela en s'affranchissant des lois naturelles. Nouveaux

démiurges¹, ils vont être en mesure de choisir et de déterminer la destinée d'êtres vivants en prenant le relais de l'évolution biologique mise en lumière par Charles Darwin, évolution naturelle qui, au cours de millions d'années, a engendré la diversité des espèces par le jeu des mutations et de la sélection naturelle. Désormais, par synthèse ou par évolution artificielle, les humains vont créer des espèces animales ou végétales n'existant pas dans la nature, accélérer ou ralentir certains cycles vitaux des écosystèmes, mettre en scène les nouvelles origines de la vie, et même d'une macrovie à laquelle ils appartiennent déjà, tels des neurones dans un cerveau planétaire.

L'humanité se préparerait donc à rejouer les origines de la vie... avec un brusque début du film ou la continuité d'un spectacle permanent ? Selon François Jacob, prix Nobel de médecine, « la vie ne commence pas, elle continue », et d'ajouter cette forte expression : « L'évolution bricole. » Elle prend une pièce ici et une autre là, recombinaison et reconstruisant en continu l'infinie variété des formes et des espèces vivantes. La biologie de synthèse emprunte des pièces à des organismes vivants, elle les introduit dans des réceptacles vides, les capte ou les détourne des sources d'énergie pour faire émerger des organismes dotés de fonctions qualifiées de vivantes, comme l'autoconservation, l'autoreproduction, l'autorégulation et la capacité à évoluer.

Faut-il classer dans la catégorie des fabricants de monstres, des apprentis sorciers, voire des savants fous, ceux qui actuellement tentent de synthétiser la vie ? Ne seraient-ils pas au contraire – ce que cet ouvrage va tenter de démontrer – des veilleurs, des pionniers, traçant des voies nouvelles pour la science du XXI^e siècle ? La

1. Pour Platon, le démiurge est une divinité créatrice et organisatrice du monde.

biologie de synthèse doit donc être considérée avec une attention particulière. Elle nous exhorte non seulement à mieux définir ce que nous entendons par le vivant, mais aussi et surtout à réfléchir à la direction que prend l'évolution de la vie sur la planète. De même, elle nous fait entrevoir le rôle que l'homme pourrait jouer en tant que bricoleur, ingénieur ou architecte de l'infiniment petit, pour modifier les règles de la nature et conduire à la fabrication de créatures, voire de monstres qui pourraient se retourner contre lui, ses sociétés et son écosystème.

Même si la biologie de synthèse apparaît comme une profonde rupture, ce livre est le récit d'une aventure commencée depuis longtemps. Certaines expériences de chimie ont déjà démontré qu'il était possible d'obtenir les composés de base de la vie, bien entendu sans produire une cellule vivante. En 1953, un jeune chercheur de 23 ans, Stanley Miller, de l'université de Chicago, réussit à synthétiser, dans les conditions qui devaient régner sur la Terre primitive il y a plusieurs milliards d'années, les composés de base des protéines et des acides nucléiques, constituants essentiels de tous les êtres vivants. Pour cela, il recrée l'atmosphère primitive de la Terre – un mélange de méthane, d'ammoniac, d'hydrogène et de vapeur d'eau – qu'il irradie avec des éclairs électriques simulant de violents orages, afin de lui fournir de l'énergie. En même temps, il entretient à travers son ballon de verre, et dans des tubes stériles, une circulation puis une accumulation d'eau dans un tube en U. Il espère ainsi reconstituer les pluies abondantes, les ruisseaux et les marécages qui devaient exister à cette lointaine époque. Au bout d'une semaine, Miller obtient une sorte de brouet de couleur jaune orangé comportant des acides aminés, molécules essentielles à la vie, ainsi que les briques des acides nucléiques, pièces de construction de l'ADN. Le plus étonnant dans cette

expérience, désormais célèbre, est la facilité avec laquelle ces composés essentiels au vivant se sont formés, et cela dans des conditions purement « abiotiques », c'est-à-dire en l'absence de toute vie pré-existante.

L'expérience de Miller, même si elle fut reconnue comme imparfaite, livra les premiers indices concrets et réels de la production, en l'absence de toute vie, des matériaux de base de la vie. Et, surtout, elle montra la nécessité d'une longue gestation chimique, avant d'aboutir, après des centaines de millions d'années, à l'émergence des premiers organismes vivants. Ce ne sont sans doute pas un premier virus ou une première cellule qui apparurent brusquement, mais plutôt des microsphères, sortes de globules séparés du monde extérieur, et échangeant avec lui nombre de molécules diverses. L'ensemble s'est séparé progressivement en un dedans et un dehors, créant ainsi un milieu intérieur au sein duquel se sont sélectionnés les processus de base de la vie, c'est-à-dire une capacité d'auto-organisation, la faculté de générer sa propre énergie, de se reproduire et d'évoluer.

D'autres expériences mirent progressivement les hommes sur la voie de la création d'organismes artificiels, notamment les progrès réalisés dans les domaines de la biologie moléculaire et du génie génétique, mais aussi dans les relations entre mécanique, informatique et biologie. Les ordinateurs ont ainsi permis la création de systèmes complexes totalement virtuels, comme des virus capables d'infecter d'autres ordinateurs, de se reproduire et de se diversifier par mutations ; ou des formes de vie artificielle se développant dans le monde numérique, *in silico*, plutôt que *in vivo*.

Au cours des dernières années, la vie que nous connaissons s'est donc progressivement dénaturée pour donner des artefacts électroniques, des prothèses bioniques ou encore des robots anthropomorphes plus

vrais que nature. Depuis longtemps, des inventeurs, des horlogers, des mécaniciens ont tenté de créer des marionnettes, ou des automates ressemblant à des organismes vivants. En 1730, Jacques de Vaucanson avait réussi à fabriquer un canard artificiel qui avait étonné et passionné ses contemporains. L'objectif de ces inventeurs était aussi de concevoir des organes artificiels, ou encore d'imiter la voix ou les gestes humains. Ce monde de l'hybridation (mi-homme, mi-machine) constituait un pas supplémentaire vers la connaissance du vivant, sa transformation et, pour certains, son amélioration. Ce pas a été récemment franchi avec les prothèses commandées par le cerveau et la communication directe entre neurones et robots.

Bénéficiant d'avancées mécaniques, électroniques, informatiques et biologiques, les scientifiques ont réussi à décrypter l'ensemble des plans de fabrication des êtres vivants, les quelque vingt-cinq mille gènes contenus dans la longue molécule d'ADN, mais aussi et surtout à reprogrammer des cellules primitives, bactéries ou levures, pour leur faire synthétiser des produits utiles à la société : médicaments, biopesticides ou engrais. D'où l'essor de la biologie moléculaire et du génie génétique dans les années 1980 et 1990 conduisant au rapide développement et à la croissance des entreprises de biotechnologie dans le monde.

Tout bascule à partir de 2003. D'audacieux chercheurs tirent le bénéfice d'un demi-siècle de recherches sur les chromosomes humains et valorisent les connaissances affinées du patrimoine génétique. Après de longues années d'efforts, ils parviennent non seulement à séquencer le génome humain, mais aussi à orthographier, à rédiger chaque gène, avec les quatre lettres chimiques de l'alphabet de la génétique. Cette percée aurait été inconcevable sans la bio-informatique, qui établit la relation entre code génétique et succession des

acides aminés dans les protéines, et assure le stockage, dans d'immenses bases de données, d'innombrables informations biologiques en provenance du monde entier.

Dès lors, une évidence apparaît à plusieurs équipes de recherche : une meilleure connaissance des règles et des conditions de la programmation informatique ne pourrait-elle pas s'appliquer à celle de séquences génétiques codées, analogues à des logiciels, ou plutôt à des biologiciels ? Ces idées avaient déjà émergé à la fin des années 1970 et au début des années 1980, mais les ordinateurs et les machines à synthétiser les gènes manquaient d'efficacité et de puissance. Le couplage d'une programmation informatique et d'une programmation biologique, complémentaires l'une de l'autre, ouvrirait des voies inexplorées à une nouvelle discipline scientifique : la biologie de synthèse.

Des milliers de jeunes chercheurs s'engagent alors avec passion dans cette discipline montante, comme ils le firent en Californie pour la micro-informatique ou les biotechnologies au cours des années 1970 et 1980. C'est l'irruption des *biohackers*, en référence aux *hackers* informatiques capables de pénétrer des bases de données ou de pirater des logiciels. Ces jeunes biologistes fabriquent aujourd'hui ou modifient des organismes vivants ou prévivants par l'intermédiaire de séquences d'ADN dont les codes s'obtiennent sur Internet, briques de base, *cassettes ADN* ou *biobricks*. Grâce à leurs succès, rendus populaires par des concours internationaux, les *biohackers* sont devenus l'expression spectaculaire de cette révolution en marche. Ils démontrent que non seulement ce mouvement est concret, mais qu'il est relativement accessible, même si les recherches de pointe ont lieu dans les laboratoires les plus performants.

Les *biohackers* suscitent des espoirs mais aussi des craintes dans le monde scientifique et industriel. Ces

bricoleurs de génie pourraient-ils donner des idées à des bioterroristes ? Leurs biobricolages ne risquent-ils pas de leur échapper, bouleversant l'équilibre des écosystèmes ? Ces dangers existent. Il est nécessaire d'en débattre dès aujourd'hui pour permettre à chacun de se responsabiliser face à une évolution qui s'emballe. *Cassettes ADN* et *biobricks* sont disponibles gratuitement sur Internet, sans aucun contrôle. Des laboratoires de biologie de synthèse, dans les universités les plus célèbres et, depuis peu, dans des entreprises industrielles, travaillent sur de nouvelles méthodes, des techniques industrielles de production de médicaments, de produits énergétiques, ou de diagnostic. Certains prônent la démarche descendante, qui vise à déconstruire la vie pour mieux la reconstruire. D'autres, au contraire, vantent l'approche ascendante et partent de briques inertes, fondamentales, pour tenter de bâtir des cellules prévivantes. Dans tous les cas, ces chercheurs, que certains qualifient d'apprentis sorciers, repoussent les limites de la biologie. Ils s'appuient sur d'autres techniques comme les nanotechnologies et l'informatique, et démontrent le potentiel et la fécondité de la transdisciplinarité. Mais, au fond, pour quoi faire ? Certes, la course est engagée, mais les problèmes éthiques demeurent...

Aujourd'hui, sociologues, philosophes ou politiques se posent la question : ne faudrait-il pas tout arrêter ? Des scientifiques réclament, quant à eux, des moratoires pour prendre le temps de réfléchir avant de décider s'il faut aller plus avant, malgré les risques. Certes, ils prévoient que les applications de la biologie de synthèse seront nombreuses dans les domaines de la santé, de l'énergie, de l'agriculture, de la conception de nouveaux matériaux, ou de la lutte contre le bioterrorisme. Mais il convient de rester vigilant pour éviter toute dérive et de se poser les questions pertinentes suffisamment tôt, afin

que tous se sentent responsables de l'avenir de la biologie de synthèse – et de l'avenir du vivant sur la planète.

Car, au-delà du caractère novateur de cet inquiétant monde biologique, on peut s'interroger sur l'utilité de cette quête. Connaître si intimement le vivant, au point de le générer, revient aussi à entrebâiller la porte de l'immortalité, ou du moins de la maîtrise des phénomènes de vieillissement. Avec les progrès de l'électronique, des télécommunications, de l'informatique et des réseaux interactifs mondiaux, l'être humain ne cesse d'évoluer. Il expérimente désormais avec son corps les applications de la biotique (association de la biologie et de l'informatique) et s'ouvre, par conséquent, à l'hybridation homme/machine. Avec les nanotechnologies puis la biologie de synthèse, il insère dans le vivant, à des échelons indétectables, des nanolaboratoires et des micro-usines. Il crée même de nouvelles propriétés vitales. En quelque sorte, il s'artificialise et immerge l'espèce humaine dans une nouvelle dimension. Piloté par des programmes et des réseaux entrelacés, interdépendants, parfois parallèles et souvent à son insu, l'homme devient le maillon d'un tout qui lui échappe. Il œuvre à l'épanouissement de la ruche terrestre. Il nourrit et fait fonctionner, de l'intérieur, un macro-organisme planétaire.

Des profondes mutations se dessinent, des seuils vont être franchis. Vers quelle singularité¹ ? Sommes-nous en train d'assister à une autre étape de l'évolution, à une nouvelle origine de la vie, donnant naissance à un système hypercomplexe dont nous serions les éléments ? Un système vivant relevant d'une forme différente de biologie : une macrobiologie de synthèse conduisant à la

1. La singularité technologique (ou simplement la singularité) est un concept selon lequel, à partir d'un point hypothétique de son évolution, la civilisation humaine connaîtra une croissance technologique d'un ordre supérieur.

construction d'organismes plus complexes que l'homme, ses villes et ses sociétés, générés par les hommes, jouant ainsi le rôle de cellules vivantes au sein d'un tissu qui les englobe et les dépasse. Un organisme hybride gigantesque, à la fois mécanique, électronique et biologique, sorte de troisième peau se superposant à celle du corps, des vêtements ou des maisons. Une peau qui entoure aujourd'hui, de manière réelle et virtuelle, l'ensemble de la planète. Réseaux informatiques, ondes électromagnétiques, monde invisible du nuage électronique ubiquitaire, qui préfigurent les nouveaux sens de l'humanité. Des métasens, capables de détecter, de comparer, d'influencer les comportements globaux des sociétés et des écosystèmes planétaires.

C'est ainsi que, au fil des pages, la biologie de synthèse, à la source des réflexions de ce livre, conduit progressivement, par approche systémique, à percevoir et à anticiper l'émergence d'une nouvelle forme de vie créée de toutes pièces par l'humanité : une macrovie qu'il est nécessaire de comprendre et de manager pour éviter sa domination sur l'homme. C'est peut-être le plus grand enjeu de son histoire : combattre un pouvoir ne venant pas seulement d'à côté, comme lors des guerres territoriales entre nations, mais de l'intérieur et d'au-dessus, d'un organisme collectif, destructeur possible de l'identité humaine et des rapports sociaux... ou susceptible de vivre en harmonie avec l'humanité.

Il nous faudra donc tirer les leçons de la biologie de synthèse naissante et de ses audacieux projets, mais surtout trouver les lois de la construction, du fonctionnement métabolique et cybernétique du macro-organisme planétaire, afin de vivre en symbiose plutôt qu'en compétition avec la créature que nous faisons émerger de nos corps, de nos usines, de nos ordinateurs et de nos réseaux.