

CE QUE LA SCIENCE SAIT DU MONDE DE DEMAIN

Sous la direction de Jim Al-Khalili

Traduit de l'anglais par André Cabannes

Table des matières

Jim Al-Khalili	<i>Introduction</i>	4
----------------	---------------------	---

L'AVENIR DE NOTRE PLANÈTE

Démographie, préservation et changement climatique

1	Philip Ball	<i>Démographie</i>	10
2	Gaia Vince	<i>La biosphère</i>	27
3	Julia Slingo	<i>Changement climatique</i>	42

L'AVENIR DE NOUS

Médecine, génétique et transhumanisme

4	Adam Kucharski	<i>L'avenir de la médecine</i>	61
5	Aarathi Prasad	<i>Génomique et ingénierie génétique</i>	77
6	Adam Rutherford	<i>Biologie de synthèse</i>	94
7	Mark Walker	<i>Transhumanisme</i>	107

L'AVENIR EN LIGNE

IA, ordinateurs quantiques et l'Internet

8	Naomi Climer	<i>Le Cloud et l'Internet des objets</i>	125
9	Alan Woodward	<i>Cybersécurité</i>	142
10	Margaret A. Boden	<i>Intelligence artificielle</i>	158
11	Winfried K. Hensinger	<i>Ordinateurs quantiques</i>	173

CRÉER L'AVENIR
ingénierie, transports et énergie

12	Anna Ploszajski <i>Matériaux intelligents</i>	189
13	Jeff Hardy <i>Énergie</i>	203
14	John Miles <i>Transports</i>	221
15	Noel Sharkey <i>Robotique</i>	235

L'AVENIR LOINTAIN
Voyages dans le temps, l'apocalypse et vivre
dans l'espace

16	Louisa Preston <i>Voyages interstellaires et colonisation du système solaire</i>	252
17	Lewis Dartnell <i>Apocalypse</i>	270
18	Jim Al-Khalili <i>Téléportation et voyages dans le temps</i>	287
	Bibliographie	303
	Biographies des auteurs	309
	Index	317

Biologie de synthèse

Adam Rutherford

Vous conviendrez que 314 dollars est un peu cher pour une cravate. Mais après tout celle dont je vous parle a été tissée avec de la soie d'araignée, ce qui peut déjà paraître étrange, et jusqu'à un certain point justifier son coût. La soie d'araignée est un matériau remarquable : c'est une protéine prenant différentes formes selon l'espèce et ce à quoi elle sert – que ce soit tendre une toile, ligoter une proie, ou protéger des œufs. Chaque forme a des propriétés mécaniques, élastiques et physiques qui dépassent ce que l'homme sait fabriquer aujourd'hui. À poids égal, la résistance à la traction de la soie est supérieure à celle de l'acier. Chaque forme sort de l'abdomen de l'araignée par l'une de ses nombreuses filières – formant un réseau complexe de minuscules buses internes qui alignent de courtes fibres de protéine de soie selon l'utilisation prévue.

Malgré le grand intérêt que nous aurions à récolter la soie d'araignée et exploiter ses propriétés physiques exceptionnelles, ce sont des animaux notoirement rétifs à l'élevage. La plupart ont des traits de caractère qui ne se prêtent pas à l'agriculture industrielle nécessaire pour produire des fibres en quantité suffisante : les araignées sont des êtres essentiellement solitaires ; et mises en compagnie de congénères, elles tendent vers le cannibalisme. Aussi, la seconde raison pour laquelle la cravate coûte si cher et qu'elle a été tissée avec de la soie d'araignée qui n'a jamais vu de près

ou de loin une araignée ou une filière. Sa soie a poussé et fermenté dans de la levure.

Bienvenue dans le monde étrange de la biologie de synthèse. Ce titre est bien sûr un oxymore : la biologie c'est la nature ; elle ne peut donc pas être synthétique. Cette énigme est au cœur d'une technologie qui va profondément influencer – peut-être même dominer – non seulement notre avenir vestimentaire, mais la médecine, l'agriculture, la conception de médicaments, la production d'énergie et même l'exploration spatiale. La cravate est le premier article produit par une entreprise de biologie synthétique nommée Bolt Threads. C'est en quelque sorte un jalon, pas vraiment un produit commercialisable sur un marché de masse – seulement cinquante cravates en fil de soie d'araignée ont été produites, et même si elles sont dans un tissu bleu très chic, elles restent plutôt chères. Bolt Threads est une entreprise dont l'objet est de produire des matériaux pour le textile et l'habillement, en évitant l'étape traditionnelle de production et récolte de produits agricoles et fermiers comme le coton, la laine ou la soie à partir des organismes inefficaces que sont les plantes et les animaux. Nous avons "mis au point" nos animaux et nos plantes au cours de plus de 10 000 ans afin qu'ils produisent des biens pour notre usage. Mais l'agriculture a toujours été handicapée par le processus long et laborieux de la reproduction sexuée, et surtout limitée par la nécessité biologique de pratiquer cette reproduction presque exclusivement au sein d'organismes de la même espèce. Avec la biologie de synthèse, nous pouvons maintenant sauter complètement l'étape du sexe et de la reproduction, et mettre ensemble des organismes qui n'ont pas la moindre possibilité de copuler, ayant été séparés dans l'arbre de l'évolution il y a des centaines de millions d'années – les araignées et la levure. Les ingénieurs en

biologie de synthèse cherchent à extraire le code source et le remanier afin d'en faire des usines biologiques bien plus efficaces.

Dans la nature le code source est l'ADN. La protéine de soie d'araignée est encodée dans des gènes qui pendant quelques centaines de millions d'années ont résidé exclusivement dans les araignées. Il y a quelques décennies, nous avons commencé à extraire et caractériser les gènes avec précision et rapidité, nous amenant à nous demander comment nous pourrions les réinsérer dans d'autres organismes, parfois de la même espèce, parfois d'espèces tout à fait différentes. Les gènes pourraient être laissés intacts pour voir comment ils se comportent, ou modifiés, ou même délibérément dégradés, afin de tester leur fonction naturelle et de voir ce qui se passe si une partie est cassée. C'est de l'ingénierie génétique, et elle est rendue possible par le fait que la structure générale du code source de la biologie est universelle – tous les organismes sur Terre font partie de la même famille ; ils sont sur le même arbre. C'est un arbre incroyablement ramifié, qui, d'après les idées de Charles Darwin sur la sélection naturelle, a grandi et s'est épanoui pendant près de 4 milliards d'années. Cela veut dire que toutes les créatures sont encodées par de l'ADN. Celui-ci est écrit avec un alphabet d'une simplicité trompeuse, consistant en juste quatre lettres chimiques, disposées à la suite les unes des autres pour former un langage dans lequel sont écrits les gènes ; le langage des gènes est converti en mots formés d'acides aminés. L'ensemble des choses vivantes n'utilisent que vingt-et-un acides aminés, qui s'assemblent pour former des protéines. Toutes les protéines qui aient jamais existé ont été écrites ainsi, et toute la vie est faite de protéines et par des protéines.

On comprit, à la naissance de l'ingénierie génétique au

milieu des années 70, que si l'on s'y prenait convenablement, la cellule ou l'organisme hôte se moquait de savoir d'où venait l'ADN tant qu'il pouvait être lu. Les gènes fournissant les instructions pour fabriquer des protéines et leur dire quoi faire, qui avaient jusqu'à présent toujours été produits et avaient travaillé au sein de la même espèce, pouvaient être écrits dans l'ADN d'espèces complètement différentes.

Quelques années plus tôt, les Beatles avaient inventé l'échantillonnage en musique. Dans l'enregistrement de la chanson "Being for the Benefit of Mr. Kite!" de l'album *Sgt Pepper's Lonely Hearts Club Band* (1967), George Martin et Paul McCartney avaient pris un enregistrement sur bande magnétique d'un instrument de cirque de l'époque victorienne appelé calliope¹, et l'avaient découpé en courtes sections. La légende veut qu'ils aient pris les morceaux physiques de la bande, les aient jetés en l'air, ramassés au hasard, et les aient insérés ainsi dans leur morceau. Les notes étaient écrites dans la même langue, et en ajustant soigneusement la clé et le tempo, ils produisirent une musique qui – pour la première fois dans l'histoire – contenait, sans qu'il n'y paraisse, des parties physiquement extraites d'un autre enregistrement. Depuis lors, l'échantillonnage est devenu une technique très répandue dans la musique populaire, et a donné naissance à des genres entiers, notamment le hip-hop, qui est à ce jour la forme musicale la plus lucrative de l'histoire.

En 1973, un scientifique à l'université de Stanford, du nom de Paul Berg², dirigeait une équipe qui parvint à transplanter un gène d'un virus dans un autre. Cet échan-

1. Instrument proche du limonaire, appelé aussi "orgue à vapeur".

2. Paul Berg (né en 1926), biochimiste américain, professeur émérite à l'université de Stanford, prix Nobel de chimie 1980 conjointement avec Walter Gilbert and Frederick Sanger.

tillonnage biologique peut être considéré comme marquant la naissance de la biologie moderne, et la fondation d'une biotechnologie qui allait dominer toutes les autres. Il n'existe aujourd'hui aucun domaine d'étude de la vie qui n'ait recours à ces techniques. L'identification des gènes défectueux à l'origine de maladies, et plus tard l'identification de *tous* nos gènes dans le Projet Génome Humain (PGH), ont entièrement dépendu de notre capacité à les extraire et les insérer dans des bactéries où ils pouvaient être manipulés, décrits et compris. Mon propre domaine de recherche – la génétique du développement – repose sur la possibilité de prendre les gènes d'un organisme et les mettre dans un autre que l'on comprend mieux ou qui se prête mieux à l'étude de ce que font ces gènes. Nous avons pris des gènes humains et les avons d'abord mis dans des bactéries ; puis nous avons trafiqué leur code, et les avons ensuite épissés dans des souris. En l'espace de quelques décennies, depuis les années 80, ce repiquage biologique est devenu pratique courante.

Au tournant du XXI^e siècle, les domaines de la génétique, de l'ingénierie génétique et de la biologie moléculaire sont passés de la tendre enfance à l'enfance. Cette époque, avec le PGH bouillonnant à l'arrière plan, était fébrile et excitante, comme le sont, j'imagine, tous les domaines de recherche connaissant une révolution. Mais rétrospectivement, nous étions tous lents et inefficaces, essentiellement car nous devons chaque fois inventer les manipulations de l'ADN avec lesquelles nous réaliserions nos expériences. Nous coupions des bandes magnétiques d'enregistrements de calliope chaque fois que nous voulions effectuer un échantillonnage. C'était un monde de repiquage exclusivement sur mesure.

C'est pour une bonne part l'histoire de toutes les nouvelles technologies. Elles sont ensuite affinées, copiées et

distribuées à grande échelle afin que chacun puisse les utiliser. Rapidement elles sont simplifiées, et deviennent pour ainsi dire normales. L'échantillonnage musical est aujourd'hui un jeu d'enfant, et il est même possible d'en faire sur son téléphone portable. Je tape ces mots sur une machine inconcevable il y a seulement cinquante ans, dont je comprends à peine la technologie, mais qui est d'une grande fiabilité, reposant sur des principes simples d'électronique et sur des propriétés des matériaux. Quand je tape sur une touche du clavier, des tensions électriques sont créées dans des fils et des circuits ; des électrons traversent des portes logiques et des transistors ; et en définitive cela allume ou éteint des diodes électroluminescentes sur l'écran, formant les lettres que je veux, dans un processus d'une sophistication telle qu'il m'est impossible d'embrasser réellement tout ce qui se passe. Le boom de l'électronique a été facilité par la standardisation des composants. Vous n'aviez pas à inventer une nouvelle technique chaque fois que vous vouliez contrôler le sens d'un micro-courant ; vous pouviez juste acheter la diode qui convenait, et l'insérer parmi d'autres composants en sachant parfaitement comment elle se comporterait.

Les composants furent de plus en plus miniaturisés, et la réalisation de circuits électroniques plus complexes devint chaque jour plus simple. De nos jours, l'électronique et les transistors sont présents dans pratiquement tous les secteurs de la vie quotidienne.

Les fondateurs de la biologie de synthèse étaient conscients du problème. Situés principalement aux Etats-Unis, à Stanford et au MIT, les ingénieurs électroniciens et les mathématiciens observèrent que la génétique consistait en du code et des circuits pour le manipuler et l'utiliser, et pouvait être produite et reproduite, mais que les généticiens

passaient la moitié de leur temps à réécrire leurs circuits. Si des parties de l'ingénierie génétique pouvaient être standardisées comme le furent les composants électroniques, alors les progrès dans la construction d'usines biologiques pourraient connaître une croissance accélérée.

Ainsi fut fait. La fondation BioBricks a été créée en 2006 pour être dépositrice de parties standardisées d'ADN, subtilement modifiées de telle sorte qu'elles puissent être assemblées et fixées ensemble comme du Lego. Il ne s'agit pas d'une métaphore : les gènes et les interrupteurs génétiques composant l'ADN ont été extraits en pièces détachées, et les extrémités de chaque pièce retravaillées afin de s'emboîter aisément dans une autre pièce et avec la bonne orientation biologique. Chacun de ces éléments peut être demandé à la fondation, qui vous l'enverra, où que vous soyez dans le monde, sur du papier buvard. Quand vous ajoutez une solution, l'élément d'ADN se met à flotter en suspension, et va rejoindre le composant avec lequel il doit s'emboîter, comme un domino. Avec cette simple opération, vous accomplissez un acte d'ingénierie génétique inimaginable dans toute l'histoire, même dans l'histoire de la science moderne.

Pourtant si bons qu'ils fussent généralement pour prédire les technologies du futur, aucun de nos grands auteurs de science-fiction n'a vu cela arriver. L'évolution, avec son extraordinaire cortège d'essais et de corrections qui s'est déroulé sur 4 milliards d'années, nous a fourni une ressource inimaginable pour construire de nouvelles formes de vie : des gènes de toutes les sortes possibles, chacun ajusté pour optimiser sa propre survie au sein de son organisme hôte, tandis que que l'environnement change autour de lui. Avec la biologie de synthèse, nous avons inventé une technique qui prend ces composants peaufinés par l'évolution et les mélange entre eux non pour assurer la survie de l'hôte, mais

pour nos propres besoins.

La biologie de synthèse a plusieurs formes. Certains chercheurs ne se contentent pas de réécrire le code avec des objectifs spécifiques mais réinventent le langage de l'ADN en introduisant des lettres qui n'existent pas dans la nature, ou avec des versions modifiées qui n'ont jamais existé. D'autres utilisent l'ADN comme support de mémoire – après tout c'est le rôle qu'il joue aussi dans la vie. Les gènes sont de l'information, et l'ADN est un remarquable format de données – nous pouvons récupérer les génomes de gens ou d'organismes qui sont morts depuis des dizaines ou même des centaines de milliers d'années. Et comme c'est de l'ADN, jamais nous cesserons de l'étudier. Si l'on se tourne vers le monde des appareils digitaux, les données se dégradent et les formats tombent en désuétude au bout de quelques années. Vous souvenez-vous des disquettes de 5 pouces 1/4? Ou des cassettes video au format Betamax? Plusieurs équipes dans le monde sont parvenues à encoder de la video, des sonnets de Shakespeare, des livres ou d'autres données digitales dans de l'ADN – qui est à ce jour le support de mémoire le plus dense que l'on connaisse, plusieurs ordres de grandeur plus dense qu'un Blu-Ray³. Pour le moment, l'écriture dans de l'ADN comme support de mémoire est lente, et la lecture aussi, ce qui veut dire que cette technique, encore futuriste, est seulement adaptée à de l'archivage de long-terme. Mais il est envisageable que dans l'avenir nos ordinateurs utilisent des disques durs à ADN.

Les premières décennies qui ont suivi la naissance de la biologie de synthèse ont vu germer une profusion d'idées nouvelles, et un potentiel d'inventions pour l'avenir sans

3. Un ordre de grandeur, dans le monde scientifique, veut dire un facteur dix.

précédent. L'éventail des idées et des techniques est extraordinaire, mais jusqu'à présent les efforts ont surtout porté sur la conception de circuits génétiques permettant de fabriquer des produits, souvent difficiles ou même impossibles à fabriquer autrement.

L'un des chapitres les plus notables du développement de la biologie synthétique concerne le traitement de la première cause de mortalité mondiale : la malaria. Il y a entre 200 et 500 millions de nouvelles infections chaque année par la malaria dans le monde, et environ 400 000 décès, principalement d'enfants de moins de 15 ans. Dans l'histoire de l'humanité, ce fléau a fauché plus de vies que n'importe quelle autre cause unique. Au fil du temps, des traitements ont apporté un répit temporaire, mais leur emploi sans discernement a favorisé l'apparition du parasite protozoaire *Plasmodium* qui renforce la résistance et l'immunité aux médicaments disponibles. Ces dernières années, une nouvelle substance active, appelée artémisinine, est devenue le traitement de choix. Traditionnellement on l'extrait de l'armoise annuelle de Chine, mais, comme beaucoup de produits agricoles, l'offre et la demande pour cette dernière sont très sensibles aux cycles économiques, en conséquence son prix de marché a connu de vastes fluctuations. Dans les premières années du XXI^e siècle, une entreprise de biologie de synthèse de San Francisco appelée Amyris travaillait sur le développement d'une forme de carburant diesel qu'on pouvait produire avec de la levure. L'un des chercheurs observa qu'un des produits intermédiaires dans les manipulations moléculaires tortueuses était un précurseur de l'artémisinine. Alors ils s'appliquèrent à améliorer les circuits génétiques afin que dans les cellules de levure l'artémisinine puisse être produite en grand volume, et extraite pour fournir une nouvelle source du médicament. Cela vint aux

oreilles de la fondation Bill et Melinda Gates qui y vit une stratégie possible pour un traitement à grande échelle de la malaria, dégagé des contraintes économiques liées à la production agricole traditionnelle, et qui y injecta plusieurs millions de dollars, en même temps qu'une licence d'exploitation était cédée à l'entreprise pharmaceutique Sanofi pour la commercialiser à un prix nettement plus bas qu'avant.

L'utilisation des cellules comme capteurs est un objectif poursuivi depuis les toutes premières années de la biologie de synthèse. La machinerie de la vie peut être incroyablement sensible – après tous, les photorécepteurs dans votre rétine sont capables de détecter un seul photon de lumière. Aujourd'hui, des cellules ont été reprogrammées pour détecter une panoplie de signaux en provenance de l'environnement, depuis la viande en barquette en train de se gâter dans un rayon de supermarché jusqu'à la détection de polluants pétrochimiques ou d'agents infectieux dans le corps.

Et la biologie de synthèse n'est pas limitée à la Terre. La NASA a manifesté un intérêt particulier et a investi dans le développement de technologies dérivées de la reprogrammation de l'ADN, principalement parce que les cellules sont petites et ne pèsent presque rien. La première source de coûts dans l'exploration spatiale est en effet le poids. D'après certaines estimations, cela coûte environ 30 000 dollars par kilogramme pour simplement libérer une charge utile de l'attraction terrestre et l'envoyer dans l'espace. Si nous sommes sérieux dans notre projet d'envoyer un jour des gens sur d'autres planètes, nous allons devoir surmonter deux obstacles majeurs. Le premier est que l'espace est un endroit très rude – l'évolution ne nous a pas équipés pour survivre en dehors du cocon protecteur de l'atmosphère terrestre –, or les vaisseaux spatiaux baigneront dans des rayons cosmiques et des éruptions solaires équivalents

pour les astronautes à une vie d'exposition aux radiations ; une simulation de voyage aller et retour vers Mars a montré qu'ils souffriraient de stérilité et de cataracte, et courraient le risque de développer après leur retour toute une série de tumeurs cancéreuses. La meilleure protection contre ces rayons mortels est un blindage métallique extrêmement massif, mais entraînant des coûts prohibitifs. Les chercheurs de la NASA à Ames⁴ en Californie examinent comment la biologie de synthèse pourrait apporter une solution alternative à ce problème. Ils travaillent sur des bactéries qui secrètent des cytokines quand elles sont exposées aux radiations. Les cytokines sont des substances produites naturellement par le corps en réponse aux dommages causés à l'ADN par irradiation, c'est pourquoi une bactérie synthétique qui fabriquerait ses propres cytokines pourrait être utile.

La seconde raison pour laquelle la NASA a un programme de biologie de synthèse est qu'une fois que les astronautes auront atteint une autre planète ils auront besoin d'abri, d'oxygène et de nourriture. Divers projets ont utilisé des éléments de BioBricks pour créer des circuits dans des cellules avec pour objectif de produire de l'oxygène, de la nourriture et même des parpaings – ils secrètent une sorte de ciment moléculaire, et quand on le fait pousser dans du sable qui imite le régolithe martien, cela permet de fabriquer des briques. Les matières premières nécessaires sont simplement des cellules dans une éprouvette, de l'eau et du sable martien. Et seul un de ces composants doit être apporté depuis la Terre.

Ce genre de créativité est soutenu par l'enthousiasme suscité par la promesse de réaliser les rêves de la biolo-

4. Centre de recherche de la NASA à une soixantaine de kilomètres au sud de San Francisco.

gie de synthèse. C'est une discipline vibrante, avec l'exubérance de la jeunesse. N'importe qui peut construire ces circuits génétiques – les seules limites sont celles de votre imagination. Le problème a longtemps été que trop peu de ces rêves se sont avérés réalisables. Des circuits dont la conception était impeccable sur le papier ne fonctionnaient pas toujours comme prévu une fois implantés à l'intérieur d'une cellule vivante. Ce qui d'après les plans aurait dû être des produits digitaux bien clairs en sortie, était souvent corrompu par du bruit dans le système. Les produits, que se soit des capteurs chimiques, des médicaments ou des carburants, ont tous échoués. Il faudra encore des décennies de R&D avant que les dispositifs de protection des astronautes issus de ces techniques ne soient utilisables. L'entreprise Amyris n'est pas parvenue à faire passer son procédé de production propre de biofuel à une échelle industrielle, et elle est encore loin des volumes nécessaires pour une exploitation commerciale viable. Cela fait des années que l'artémisinine est sur le point d'arriver sur le marché, mais elle n'y est toujours pas arrivée. Il existe déjà un marché noir de l'artémisinine, mais des poches de résistance s'organisent aussi car ses utilisateurs la prennent sans suivre les indications de l'Organisation mondiale de la santé, qui recommande de ne l'utiliser qu'en combinaison avec d'autres thérapies.

Néanmoins, les promesses de la biologie de synthèse restent tout à fait réelles. Quand elle a émergé durant la première décennie du XXI^e siècle, l'excitation qu'elle a soulevé était presque palpable. Pendant un temps elle a alimenté des conversations passionnées et des articles dithyrambiques. Mais comme tant d'autres technologies émergentes, elle n'a pas tenu ses promesses. Mon sentiment est que nous sommes maintenant sortis de cette phase d'en-

thousiasme délirant, et sommes entrés dans une ère plus réaliste et posée de réels développements, au cours de laquelle de vrais produits issus de la biologie de synthèse verront le jour – des produits qui marchent et apportent de vraies solutions à de vrais problèmes. L'ADN est maintenant aussi utilisé en tant que software – ou devrait-on plutôt dire "wetware"⁵. En même temps qu'ils programment l'ADN, les ingénieurs en "wetware" travaillent aussi à réparer les derniers bugs dans des produits qui seront bientôt commercialisés. La cravate de Bolt Threads n'est qu'un gadget, un produit de démonstration des possibilités d'une technologie qui changera profondément la façon dont nous manufacturerons les choses. En science, les révolutions ont tendance à être lentes et se dérouler par paliers. Pendant des dizaines de milliers d'années, nous avons fait pousser, récolté et affiné les matériaux avec lesquels nous avons construit notre monde. Bientôt, nous réaliserons la même chose à l'intérieur de cellules vivantes dont les circuits auront été reprogrammés par nous. Ce sera la nature remixée.

5. Néologisme construit sur le modèle de *hardware*, littéralement "marchandise dure", et *software* – en français, logiciel – "marchandise molle". *Wetware* signifie littéralement "marchandise humide". L'auteur l'applique à l'ADN dans sa fonction informatique.

Biographies des auteurs

Jim Al-Khalili, officier de l'ordre de l'Empire britannique, est un physicien anglais, auteur d'ouvrages et producteur d'émissions scientifiques. Il est actuellement professeur de physique théorique et aussi titulaire de la chaire *Public Engagement in Science* à l'université du Surrey. À côté de ses recherches et publications tant professionnelles en physique nucléaire et biologie quantique qu'à destination du grand public, il a animé de nombreuses émissions sur la science à la télévision et à la radio, parmi lesquelles le programme hebdomadaire *The Life Scientific* à la BBC Radio 4. Il a reçu en 2007 le prix Michael Faraday de la Royal Society et a été en 2016 le premier lauréat de la médaille Stephen Hawking pour la diffusion de la science.

Philip Ball est un écrivain et éditeur. Ayant reçu une formation de physicien et de chimiste, il a fait partie pendant de nombreuses années du comité éditorial de la revue *Nature*. Il écrit régulièrement sur la science et ses interactions avec les arts et la culture en général. Parmi ses ouvrages on compte : *Bright Earth : Art and the Invention of Color* ; *The Music Instinct : How Music Works and Why We Can't Do Without It* ; *Curiosity : How Science Became Interested in Everything* ; et *Invisible : The Dangerous Allure of the Unseen*. Son livre *Critical Mass : How One Thing Leads to Another* a reçu en 2005 le Prix Aventis pour les livres de science. Il est à présent présentateur de l'émission "Science Stories" à la BBC radio 4, et son livre le plus récent est *The Water Kingdom : A Secret History of China*.

Margaret A. Boden, officier de l'ordre de l'Empire britannique, est professeure chercheuse en sciences cognitives à l'université du Sussex, où elle a contribué à mettre en place le premier programme universitaire au monde en sciences cognitives. Elle est titulaire de plusieurs diplômes en médecine, philosophie et psychologie, et incorpore ces disciplines dans sa recherche en intelligence artificielle. Elle est membre de l'Académie britannique (*Fellow of the British Academy*), et de l'Association pour l'avancement de l'intelligence artificielle (et ses différentes branches britannique et européennes). Ses travaux ont été traduits en vingt langues. Son ouvrage le plus récent est *Artificial Intelligence : Its Nature and Future*.

Naomi Climer est ingénieure dans les technologies de la communication et la radiodiffusion. Au cours de sa carrière elle a travaillé pour la BBC, ITV et Sony en Europe et aux États-Unis. Naomi est ancienne présidente de l'*Institution of Engineering and Technology* (IET), membre du conseil d'administration de la *National Film and Television School* (NFTS), directrice du *Council of the International Broadcasting Convention* (IBC) et consultante auprès du centre de technologie de Sony au Royaume-Uni.

Lewis Dartnell est chercheur en astrobiologie à l'université de Westminster à Londres. Il étudie comment la vie microbienne, et des signes de son existence, pourraient persister à la surface de Mars malgré le bombardement par les rayons cosmiques, et comment nous pourrions les détecter. Lewis est fréquemment invité dans des émissions de radio et de télévision pour parler de science. Une sélection de ses ouvrages comprend *Life in the Universe : A Beginner's Guide* et *The Knowledge : How to Rebuild Civilization*

in the Aftermath of a Cataclysm (<http://the-knowledge.org>), choisi comme un des livres de l'année par le *Sunday Times*.

Jeff Hardy est membre chercheur senior à l'Institut Grantham sur le changement climatique et l'environnement à l'Imperial College à Londres. Ses recherches portent sur ce que pourraient être les sources futures d'énergie peu ou non carbonées, comment elles modifieront nos vies, et quelles entreprises les produiront et les utiliseront. Auparavant il était responsable des énergies durables du futur au sein de l'organisme britannique de régulation de l'énergie, Ofgem, et directeur scientifique de l'Atelier III du GIEC. Il a aussi travaillé au *UK Energy Research Center*, à la *Royal Society of Chemistry*, au *Green Chemistry Group* de l'université de York, ainsi que sur le site de Sellafield en tant que chimiste dans un laboratoire nucléaire.

Winfried K. Hensinger est professeur de technologies quantiques à l'université du Sussex. Il a obtenu son doctorat de l'université du Queensland, à Brisbane en Australie. Dans sa thèse il a montré des effets nouveaux et étranges des atomes ultra-froids. Il a effectué une partie de ses recherches doctorales au sein du *National Institute of Standards and Technology* (NIST) à Gaithersburg, dans le Maryland aux États-Unis, dans le groupe du professeur William Phillips, lauréat du prix Nobel de physique 1997 avec Steven Chu et Claude Cohen-Tannoudji. À présent le professeur Hensinger dirige le *Sussex Ion Quantum Technology Group* ainsi que le *Sussex Centre for Quantum Technologies*. Il a publié récemment le premier plan détaillant la réalisation pratique d'un ordinateur quantique à grande échelle, et son groupe travaille à la construction d'un tel appareil.

Adam Kucharski est professeur assistant à la *London School of Hygiene & Tropical Medicine*, où il travaille sur les propagations soudaines de maladies infectieuses. Il a fait ses études à l'université de Warwick, avant d'obtenir un doctorat en mathématiques à l'université de Cambridge. Kucharski a écrit dans l'*Observer*, le *New Scientist* et *Wired*. Il a reçu en 2012 le prix *Wellcome Trust Science Writing* pour ses articles. Son premier livre, *The Perfect Bet : How Science and Math Are Taking the Luck Out of Gambling* a été publié en 2016.

John Miles est membre de l'Emmanuel College, à Cambridge, et est professeur de stratégies de transition énergétique, titulaire de la chaire Arup/Royal Academy of Engineering dans le département d'ingénierie. Ses centres d'intérêt portent sur la technologie et l'analyse économique des futurs systèmes de transport, avec une spécialisation dans les rendements énergétiques et les impacts environnementaux. Il a été le fondateur et premier directeur du groupe de travail sur la mobilité intelligente au sein du Conseil pour l'industrie automobile au Royaume-Uni (*UK Automotive Council*). Il était plus particulièrement en charge du plan de développement de la mobilité intelligente pour le Conseil et a produit plusieurs autres rapport sur le sujet.

Anna Ploszajski est chercheuse en science des matériaux et ingénieure pendant la journée, et vulgarisatrice scientifique le reste du temps. Elle fait régulièrement des monologues comiques sur les matériaux, et produit un podcast intitulé *'rial talk*. Elle écrit aussi des articles sur les merveilles des matériaux pour des publications comme *Materials World*. En 2017, Anna a remporté le prix Jeune ingé-

nieur de l'année, décerné par l'Académie royale d'ingénierie, et arriva en finale de *FameLab* au Royaume-Uni⁶. Durant ses loisirs, elle joue de la trompette et s'entraîne pour traverser la Manche à la nage.

Aarathi Prasad écrit sur des sujets liés à sa formation universitaire en biologie moléculaire. Elle a aussi produit et présenté des documentaires scientifiques pour les chaînes de télévision ou de radio BBC 1, BBC Radio 4, Channel 4, National Geographic et Discovery Channel. Elle publie des articles dans un grand nombre de journaux et magazines, et est l'auteur de deux ouvrages : *In the Bonesetter's Waiting-Room : Travels Through Indian Medicine* et *Like a Virgin : How Science Is Redesigning the Rules of Sex*.

Louisa Preston est chercheuse en astrobiologie au sein de la branche britannique du programme Aurora de l'Agence spatiale européenne, basée à Birkbeck, université de Londres. Elle a travaillé sur des projets pour la NASA, et les agences spatiales canadienne, européenne et britannique, étudiant des environnements terrestres où la vie est capable de se maintenir dans des conditions extrêmes, et les utilisant comme schémas possibles pour des formes d'habitat et de vie extraterrestres. Elle est férue d'occasions de faire connaître son domaine, ayant fait une présentation sur la recherche de la vie sur Mars lors de la Conférence TED de 2013. Son premier livre, *Goldilocks and the Water Bears : The Search for Life in the Universe*, est publié par Bloomsbury Sigma.

6. *FameLab* est un concours international de communication scientifique dont les candidats sont jugés par un panel d'experts sur le principe des 3 C : Contenu, Clarté, Charisme. Source : British Council.

Adam Rutherford est un généticien, écrivain et producteur d'émissions. Il présente la principale émission scientifique de la BBC Radio 4, *Inside Science*, et nombre d'autres programmes à la télévision et à la radio. Il a aussi été conseiller scientifique de plusieurs films, dont *World War Z* (2013), et *Ex Machina* d'Alex Garland (2015), qui a remporté l'Oscar des meilleurs effets visuels en 2016. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages parmi lesquels *A Brief History of Everyone Who Ever Lived : The Stories of Our Genes*.

Noel Sharkey est professeur émérite d'IA et de robotique à l'université de Sheffield, codirecteur de la Fondation pour une robotique responsable, président de l'ONG *International Committee for Robot Arms Control*, et juge principal dans la série d'émissions de la BBC, *Robot Wars*, dans lesquelles des robots s'affrontent. Noel est un esprit aux centres d'intérêt variés ; il est passé par plusieurs disciplines universitaires, de la psychologie à l'informatique, l'IA et la linguistique, et de l'apprentissage machine à l'ingénierie et la robotique, et maintenant à l'éthique de la technologie. Il a eu des charges d'enseignement et de recherche aux États-Unis (Yale et Stanford) et au Royaume-Uni (Essex, Exeter et Sheffield).

Dame Julia Slingo, membre de la *Royal Society*, est une météorologue britannique spécialiste du climat. Elle a été directrice scientifique de l'Office national britannique de météorologie (*Met Office*) entre 2009 et 2016. Tout au long de sa carrière elle a développé des approches innovantes pour comprendre et prédire le temps et le climat à l'aide de modèles complexes. Ces centres d'intérêt portent plus particulièrement sur la météorologie tropicale et la variabilité climatique. Dame Julia a été élue *Fellow of the Royal*

Society en 2015 et membre étranger de la *US National Academy of Engineering* en 2016.

Gaia Vince est une écrivaine et productrice spécialisée dans la science, la société et l'environnement. Elle a fait partie des comités éditoriaux de *Nature Climate Change*, *Nature* et *New Scientist*. Elle écrit pour des journaux et magazines au Royaume-Uni, aux États-Unis et en Australie, et présente des émissions scientifiques à la radio et à la télévision. Son premier livre, *Adventures in the Anthropocene : A Journey to the Heart of the Planet We Made*, a remporté en 2015 le prix Winton des livres de sciences, décerné par la *Royal Society*.

Mark Walker est professeur de philosophie dans le département de philosophie de l'université du Nouveau-Mexique, où il est titulaire de la chaire Richard L. Hedden d'études philosophiques avancées. Son premier livre, *Happy-People-Pills for All* (2013), soutient l'idée de créer des médicaments avancés pour améliorer le bonheur de la population en général. Son ouvrage le plus récent, *Free Money for All* (2015), prend position en faveur d'un revenu de base inconditionnel de 10 000 dollars par an pour tous les citoyens américains.

Alan Woodward a commencé sa carrière en tant que physicien et s'est progressivement mué en informaticien alors qu'il faisait du traitement du signal dans le cadre de ses travaux de recherche en troisième cycle. Après plusieurs années passées à travailler pour le gouvernement britannique il a continué à faire essentiellement le même travail dans l'industrie privée. Plus récemment, il est retourné à ses origines universitaires comme professeur invité à l'université du Surrey, tout en continuant à conseiller des organisations

comme par exemple Europol. Alan est surtout connu pour ses travaux en cybersécurité, mais cela comprend de nombreux aspects inhabituels depuis la physique quantique jusqu'à l'informatique.