

# LE GRAND LIVRE DU **BIMIMÉTISME**



Veronika Kapsali

# LE GRAND LIVRE DU **BIOMIMÉTISME**

**S'inspirer de la nature  
pour inventer demain**

Traduit de l'anglais (Royaume-Uni) par Julie Perry

DUNOD

# TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	8
BREF HISTORIQUE DE LA BIOMIMÉTIQUE	10
LE BIOMIMÉTISME DANS LA MYTHOLOGIE ET LA RÉALITÉ	12
LE DESIGN BIOMIMÉTIQUE	15
L'AVENIR	18

<b>01. FORME</b>	20	<b>BIOLOGIE</b>	<b>APPLICATIONS BIOMIMÉTIQUES</b>
		Ronces	Fil barbelé
		Mandibules de scarabée xyloophage	Chaîne de tronçonneuse moderne
		Vol d'oiseau	Aviation moderne
		Bec de martin-pêcheur	Train à grande vitesse Shinkansen
		Profil aérodynamique du dauphin	Sous-marins aérodynamiques
		Nageoire pectorale de la baleine à bosse	Effet tubercules
Poisson-coffre	Voiture bionique		
<b>02. SURFACE</b>	46	<b>BIOLOGIE</b>	<b>APPLICATIONS BIOMIMÉTIQUES</b>
		Peau de requin	Surface fonctionnelle
		Bardane	Velcro
		Doigts du gecko	Adhésif surpuissant
		Feuille de lotus	Effet lotus
		Papillon morpho	Morphotex
		Pédicellaires des étoiles de mer	Microtexture agrippante
		Stomate	Stomatex
		Diable cornu	Condensation passive de l'humidité
		Scarabée du désert du Namib	Captage du brouillard

## 03. STRUCTURE 82

BIOLOGIE	APPLICATIONS BIOMIMÉTIQUES	
Tige de grand roseau	Tube technique	86
Rayon de miel	Pneus sans air	90
Systèmes naturels en alvéoles	Produits économies en matériaux	96
Structures naturelles en alvéoles	Produits mono-matériaux	98
Matériaux auxétiques	Textiles résistants aux chocs	100
Bois	Bois biomimétique	104
Nacre	Nacre synthétique	108
Anguille polyptère	MetaMesh	110
Crysomallum squamiferum	Équipements de protection de pointe	112
Squelette d'hippocampe	Structures résilientes	114
Éponge de verre	Structures inspirées du bioverre	116
Fourrure de l'ours polaire	Textiles solaires	118
Racines végétales	Textiles respirants	120

## 04. FABRICATION 122

BIOLOGIE	APPLICATIONS BIOMIMÉTIQUES	
Guêpe poliste	Industrie papetière	126
Cocon de soie	Industrie des fibres textiles	130
Soie d'araignée	Soie d'araignée synthétique	134
Textiles à base de bactéries	Bolt Threads	138
Cellulose bactérienne	Biocouture	142
Mycélium	Emballages à base de champignons	146
Culture de tissus	Viande et matériaux	148
Photosynthèse	Biobatteries	152
Bactéries	Micro-électronique hybride	156
Myxomycètes	Informatique sans cerveau	158



CI-DESSUS Photo macro illustrant la ressemblance entre les yeux composés d'une mouche ordinaire et un dôme géodésique.

À GAUCHE Dôme biomorphique qui fait partie de l'Eden Project, un complexe dessiné par l'architecte Nicholas Grimshaw et situé en Cornouailles. Ces structures géodésiques autoportantes abritent des biomes, qui épousent leur forme.

## + 05. VERS UN DESIGN 4D 160

### BIOLOGIE

Nerfs de calamars

Intelligence artificielle

Cerveau

### APPLICATIONS BIOMIMÉTIQUES

Bascule de Schmitt

Machines intelligentes

164

166

167

Intelligence distribuée

Fourmis de feu

Robotique en essaim

170

171

### Biorobotique

Racines végétales

PLANTOID

174

178

Hybrides hommes-machines

Exosquelettes robotisés

182

Vol des oiseaux

Morphing des ailes d'avions

186

Pieuvre

Robotique molle

188

Autoréplication et auto-assemblage				192
Autoréplication		RepRap		193
+ Mouvement		Mémoire du mouvement		194
Molécules de protéines		Meubles qui s'auto-assemblent		196
+ Boutons de fleur	+	Robots autonomes qui s'auto-assemblent	+	198
Robots mous				200
Arêtes des épis		Robots sans formes		201
Plumage du manchot		Textiles isolants		206
+ Pommes de pin	+	Textiles intelligents	+	210
Cônes d'épicéa		Bois programmable		214
Peau de la pieuvre		Surfaces souples dynamiques		220



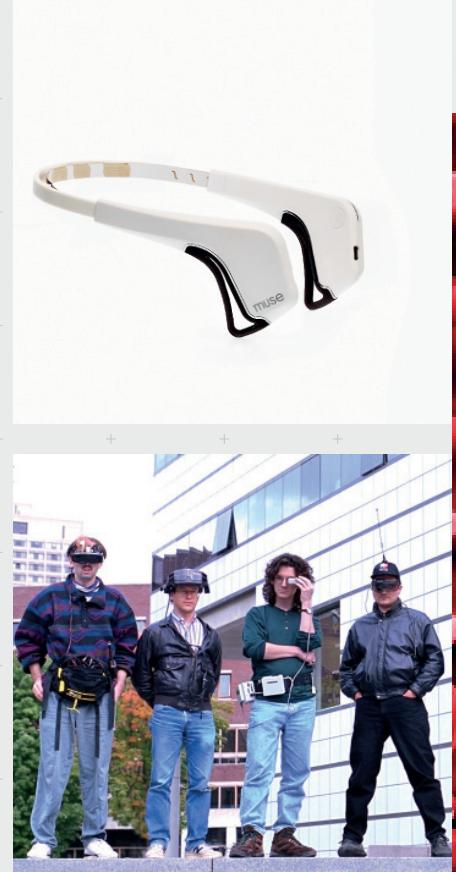
CONCLUSION	224
+ + + + + + + + + +	
Glossaire	232
Pour aller plus loin	234
Index	235
Crédits photographiques	238
Remerciements	239

# INTRODUCTION

Nous vivons dans une époque d'essor technologique sans précédent : jamais encore la frontière entre la science-fiction et la réalité scientifique n'avait été aussi poreuse. En témoigne l'apparition sur le marché des technologies portables (*wearable computing*) et de réalité augmentée, qui relevaient jusqu'à récemment du domaine de l'anticipation.

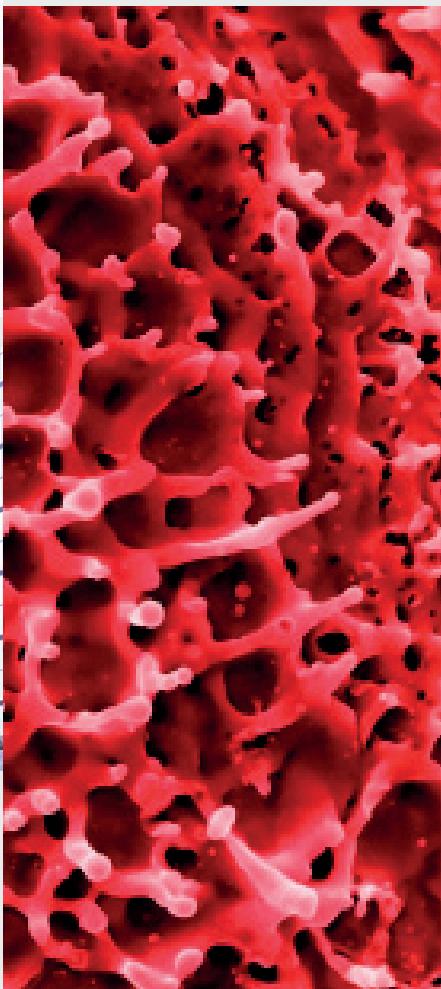
Le précurseur en la matière, Steve Mann, professeur au *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), a entamé ses recherches dans les années 1980. En l'espace d'une décennie, des images de lui et de ses collaborateurs bardés de caméras et autres dispositifs portatifs ont commencé à circuler sur Internet, qui n'en était lui aussi qu'à ses balbutiements. À la fin du xx<sup>e</sup> siècle, les avancées des technologies textiles et dans le domaine des fibres conductrices ont permis au fabricant d'électronique Philips et à la marque de vêtements Levi Strass de développer des prototypes de vêtements incorporant des technologies électroniques. S'il leur faudrait encore patienter quelques années avant de devenir des produits de grande consommation, ces technologies ont soufflé un vent de nouveauté dans le secteur traditionnel du textile. Les progrès accomplis dans la fabrication des circuits imprimés ont notamment favorisé l'intégration de capteurs biométriques, de systèmes de positionnement global et d'appareils audiovisuels, autant de dispositifs formant le réseau personnel (*personal area network*, PAN) de chaque utilisateur.

Les appareils mobiles et les PAN font aujourd'hui partie du quotidien, à l'image des chaussures lumineuses, prisées par les préadolescents. Les *wearables* intégrant des capteurs et des accéléromètres envahissent progressivement le marché, comme ces chaussures de sport dernière génération capables d'envoyer des données générées par l'utilisateur vers différents appareils tels que des téléphones, ces lunettes connectées qui suivent l'activité physique de ceux qui les portent (4iiii Innovations Inc.) ou ces bandeaux, qui captent les ondes cérébrales pour évaluer le niveau de stress de l'utilisateur (Muse) et lui proposer une programmation musicale relaxante.



EN HAUT Casque audio Muse, spécialement conçu pour la méditation. Il intègre des capteurs d'ondes cérébrales qui mesurent l'activité du cerveau et envoient automatiquement via Bluetooth sur l'appareil mobile de l'utilisateur un rapport concernant son activité cérébrale.

CI-DESSUS Steve Mann (à gauche), surnommé le « père des technologies portables » et son équipe de recherche effectuent en 1996 une démonstration de prototypes de technologies mobiles, au laboratoire multimédia du *Massachusetts Institute of Technology* (MIT).



CI-DESSUS Nanostructures induites par faisceau laser sur une plaque d'or. Les nanotechnologies consistent à manipuler et à structurer des matériaux à l'échelle nanométrique (entre 1 et 1000 nanomètres, un mètre équivalant à un milliard de nanomètres). Elles ont joué un rôle clé dans le rapprochement des technologies numériques et des sciences de la matière.

La révolution dans les sciences des matériaux qui s'est amorcée à l'aube du xx<sup>e</sup> siècle a ouvert la voie à des avancées majeures telles que les nanotechnologies, les biomatériaux, les matériaux conducteurs et les métamatériaux. Ces innovations font converger la matière et l'information pour donner naissance à des systèmes dont le potentiel global est susceptible de dépasser la somme de leurs composantes. Il est désormais possible de créer des structures sensibles, capables de modifier leurs propriétés physiques, de conserver des informations et de réagir : en d'autres termes, des objets de plus en plus proches des organismes vivants.

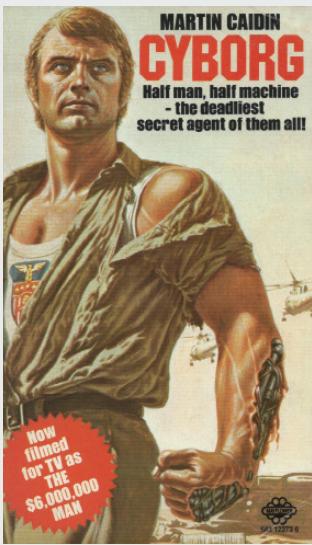
## BIOMIMÉTIQUE

*Terme venant du grec ancien bios, la vie et mīmēsis, l'imitation. Étude de la formation, de la structure ou du fonctionnement de substances et de matériaux d'origine biologique (tels que les enzymes ou la soie) ou de mécanismes et processus biologiques (comme la synthèse des protéines ou la photosynthèse), en vue notamment de produire artificiellement des objets inspirés de la nature.*

Dictionnaire Webster, 1974

CI-DESSOUS Couverture de l'édition de poche de *Cyborg*, de Martin Caidin (1974), dont le protagoniste est un hybride bionique, mi-humain, mi-machine.

EN BAS Micrographie d'une daphnie ou puce d'eau (à un grossissement de 50). C'est le type de spécimen que Robert Hooke a observé dans son traité, *Micrographia*.



## BREF HISTORIQUE DE LA BIOMIMÉTIQUE

Publié en 1665, le traité *Micrographia* du scientifique anglais Robert Hooke a révélé dans les moindres détails tout un monde miniature auparavant invisible. Hooke a observé avec des lentilles et au microscope différents spécimens communs tels que les puces ou des tissus végétaux, ainsi que des objets du quotidien comme des rasoirs ou des aiguilles, et publié ses observations en les accompagnant d'illustrations. Avant l'invention des loupes et des microscopes, la connaissance du monde naturel se limitait à ce que l'on pouvait observer à l'œil nu et percevoir à travers ses sens. L'imagination, la philosophie naturelle (étude de la nature précédant le développement de la science moderne) et les différents systèmes de croyances servaient à pallier les immenses lacunes sur le plan des connaissances.

Avec l'émergence progressive des sciences naturelles, les équipements ainsi que les méthodes d'observation et de mesure des phénomènes naturels sont devenus de plus en plus sophistiqués, et les biologistes ont pu mieux comprendre le fonctionnement des organismes. Au XIX<sup>e</sup> siècle, John George Wood, un prêtre anglais, renonça à sa cure pour se consacrer à l'étude des sciences naturelles. Ses travaux, même s'ils n'étaient pas ceux d'un chercheur, reflétaient son énergie et son enthousiasme, et ont rencontré une grande popularité auprès du public non scientifique. Ses ouvrages, tels que *Common objects of the country* et *Field Naturalist's Handbook*, ont connu le succès en Grande-Bretagne et en Amérique du Nord. En 1885, il publia *Nature's Teachings — Human Invention Anticipated by Nature*, qui s'appuie sur toute une vie d'observation passionnée de la nature pour décrire des centaines d'inventions humaines (radeaux, crochets, photographie, électricité, etc.) fonctionnant sur le même principe que certains mécanismes biologiques. À la fin de sa vie, Wood avait d'ailleurs la conviction que c'était dans la nature que résidait l'avenir des technologies.

### BIOPHYSIQUE ET AUTRES DISCIPLINES

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, un petit groupe de scientifiques eut l'idée de se servir de la physique pour interpréter des phénomènes biologiques, donnant ainsi le jour à une nouvelle discipline, la biophysique. Né le siècle suivant, Otto Herbert Schmitt était un biophysicien

et un inventeur américain de génie. Au début de sa carrière, il a appliqué l'électronique et la physique à ses travaux de recherche novateurs sur les interactions électriques au niveau des terminaisons nerveuses. Dans les années 1940, il a déjà publié plusieurs études sur le sujet. Schmitt faisait partie d'une génération de scientifiques qui ambitionnait de repousser les limites de leur discipline, délaissant une approche spécialisée au profit d'une méthode interdisciplinaire, et jetant notamment des passerelles entre les communautés techniques et scientifiques. Comme beaucoup de ses pairs, il pensait que les enseignements de la biophysique pouvaient jouer un rôle majeur dans l'innovation, même s'il n'existe pas encore de terme pour désigner ces travaux, qui relevaient essentiellement de la biophysique appliquée. En 1957, il a donc inventé le terme **biomimétisme**, qui apparaît pour la première fois dans sa thèse de doctorat. En 1958, le major Jack Steel, médecin à la base de l'armée de l'air de Wright-Patterson à Dayton, dans l'Ohio, a employé le terme **bionique** pour désigner «la science des systèmes qui s'inspirent dans une certaine mesure de la nature, ou qui présentent des caractéristiques de systèmes naturels ou les imitent.»

*De même que toutes les inventions humaines que nous connaissons existaient déjà dans la nature, on découvrira certainement qu'elle recèle les prototypes de toutes les inventions à venir. Les grands inventeurs de demain seront, par conséquent, ceux qui s'inspirent de la Nature dans les arts, les sciences ou la mécanique, au lieu de s'attribuer le mérite d'une invention déjà présente dans la Nature depuis des siècles.*

J. G. Wood, 1885



En septembre 1960, le bureau de recherche scientifique de l'armée de l'air des États-Unis (AFOSR) a organisé à Dayton un sommet de trois jours intitulé *Bionics Symposium – Living Prototypes: the key to new technology*. Cet événement, qui réunissait une trentaine d'intervenants issus du monde des sciences ou de l'ingénierie, a rassemblé plus de 700 scientifiques, ingénieurs et officiers militaires. Le logo créé pour l'occasion reliait un scalpel à un fer à souder pour symboliser la fusion des méthodes scientifiques et des applications technologiques. Dans son intervention, Schmitt a critiqué le recours au terme « bionique », qui sonnait trop comme Spoutnik et risquait d'attribuer aux Soviétiques tout le mérite des recherches menées en biophysique appliquée. (De nombreux exposés reflétaient les tensions liées à la Guerre froide et étaient sous-tendus par la nécessité impérieuse de rester en tête de la course aux découvertes scientifiques et aux innovations technologiques.) Schmitt a également souligné que si les recherches se concentraient en grande partie sur l'activité cérébrale et l'informatique, il ne fallait pas perdre de vue l'émergence d'une multitude de nouvelles possibilités, comme les nouveaux matériaux.

Bionique, biomimétique et biomimétisme, autant de termes qui renvoient à la même chose.

Julian Vincent

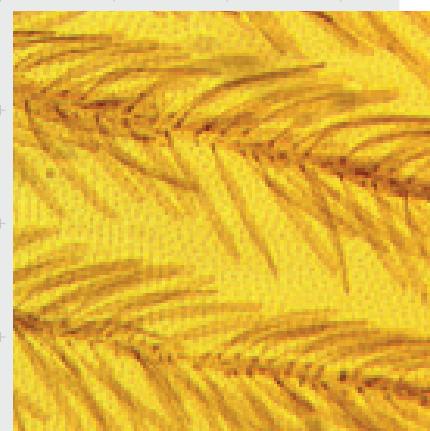
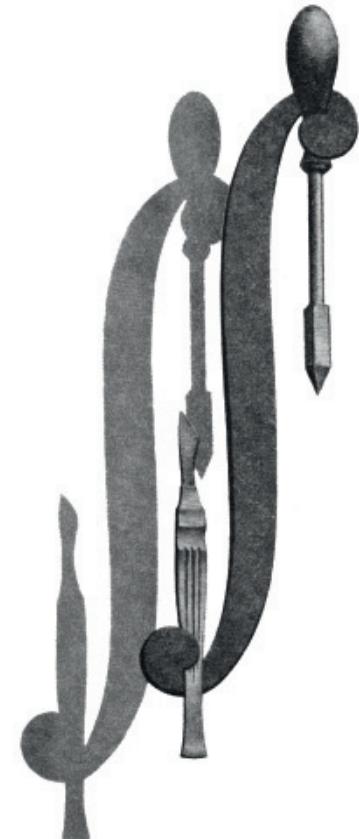
- + Comme Schmitt l'avait prévu, le terme « bionique » acquit à terme une signification différente, notamment après la publication de *Cyborg*, roman de science-fiction de Martin Caidin. Celui-ci met en scène un pilote grièvement blessé après un vol expérimental et qui, grâce à des technologies médicales de pointe, est transformé en cyborg, un hybride mi-homme mi-machine doté de superpouvoirs. Ce livre, publié en 1972, devait inspirer la série télévisée culte *L'Homme qui valait trois milliards* puis la série *Super Jaimie*, contribuant ainsi à établir dans l'imaginaire populaire un lien conceptuel entre les notions de cyborg et de bionique. Le sommet consacré à la bionique s'est tenu trois années consécutives, et a mis notamment en relief les liens entre la biologie

et l'électronique ou l'informatique. À ce jour, l'AFOSR continue de contribuer à l'organisation d'événements novateurs ainsi qu'à la recherche et au financement d'études sur la biophysique appliquée et le biomimétisme en particulier.

## LE BIOMIMÉTISME AUJOURD'HUI

À la début des années 1970, deux scientifiques britanniques issus de disciplines très différentes ont entamé une collaboration à l'université de Reading. Julian Vincent, zoologiste et George Jeronimidis, ingénieur, se sont intéressés à la biomécanique des plantes et des animaux. Ils ont travaillé sur plusieurs projets, accumulant des connaissances et des savoir-faire dans le domaine des biomatériaux, tels que la cuticule des insectes, la nacre et le bois. Roger Turner, alors cadre de la société *Imperial Chemical Industries* (ICI) et qui avait effectué des recherches sur les polymères, finança une partie de leurs travaux. À l'occasion d'une de ses visites, il leur suggéra de créer au sein de l'université un département interdisciplinaire séparé, afin de renforcer l'intégration entre leurs disciplines respectives. C'est ainsi que le Centre de la biomimétique de l'université de Reading vit le jour en 1991. Turner prit la direction de l'établissement et de son équipe de 15 personnes peu de temps après son ouverture. Le centre est à l'origine d'un corpus considérable de recherches dans des domaines aussi variés que les matériaux intelligents, les structures déployables, les biocéramiques ultrarésistantes et les muscles artificiels. En 2000, Julian Vincent quitta l'université de Reading pour celle de Bath où il fonda le Centre de la biomimétique et des technologies naturelles.

Biomimétique et des technologies naturelles. Les deux centres poursuivront leurs recherches jusqu'au départ à la retraite de leurs fondateurs, vers 2008. S'ils appartiennent aujourd'hui au passé, leur influence à travers le monde perdure. Aujourd'hui, le biomimétisme en tant qu'approche pluridisciplinaire joue un rôle croissant dans les sciences, la technologie, l'ingénierie et les mathématiques. Le volume des recherches universitaires dans ce domaine a explosé ses 15 dernières années, passant de 100 articles annuels dans des revues spécialisées au milieu des années 1990 à plus de 3 000 en 2013. En septembre 2013, l'Angleterre a intégré le biomimétisme au programme scolaire de conception de produits et de technologie des élèves de 11 à 14 ans. Dans le reste du monde, cet enseignement reste l'apanage des cursus universitaires d'ingénierie et d'architecture.



EN HAUT Logo original créé pour le sommet de bionique de l'AFOSR en 1960

CI-DESSUS Micrographie d'une aile de moustique commun agrandie 100 fois (un autre exemple de spécimen observé par Robert Hooke)

CI-DESSOUS Dédale fabrique des ailes pour son fils Icare (illustration tirée de l'encyclopédie allemande Meyers Konversations-Lexikon, 1906).

EN BAS Gravure issue de l'encyclopédie Trousset (1886-1891), illustrant le phare d'Eddystone.



## LE BIOMIMÉTISME DANS LA MYTHOLOGIE ET LA RÉALITÉ

La beauté, la puissance et l'immensité de la nature sont une source inépuisable d'émotions profondes et d'inspiration esthétique, comme en témoigne l'histoire des arts. Les innovations biomimétiques sont toutefois longtemps demeurées dans l'ombre, absentes des grandes œuvres d'art ou des découvertes archéologiques. Avant les années 1950, aucune terminologie précise n'existe d'ailleurs dans ce domaine, même s'il subsiste des traces très anciennes de ces inventions dans les mythes et les légendes, ou dans des archives et journaux personnels. Voici quelques exemples de biomimétisme, y compris mythologiques, avant qu'il ne soit connu comme tel.

### DÉDALE

Personnage de la mythologie grecque, Dédale était un architecte, un sculpteur et un inventeur renommé, qui avait un neveu du nom de Talus (également appelé Perdris), qu'il prit comme apprenti. Talus, malgré son très jeune âge, était extrêmement inventif, si bien que certaines de ses créations lui valurent une réputation digne de celle de son maître. Il est notamment fait mention d'une invention dont l'idée lui serait venue à la vue d'une arête de poisson sur une plage. Après l'avoir observée avec attention, Talus reproduisit cette structure avec du métal, créant ainsi la première scie. Dédale en conçut une jalousie telle qu'il précipita un jour son neveu du haut de l'Acropole. Pour châtiment, il fut exilé en Crète afin de servir le roi Minos. Dédale rêvait de s'évader de l'île avec son fils, Icare, mais Minos en contrôlait tous les accès. Il eut alors l'idée de confectionner des ailes semblables à celles des oiseaux avec de la cire recouverte de plumes. Si tout se déroula au début comme prévu, Icare, oubliant les avertissements de son père, s'approcha trop du soleil, dont la chaleur fit fondre la cire. Trahi par ses ailes, Icare fut précipité dans la mer, tandis que son père parvint en Sicile.

### LE PHARE D'EDDYSTONE

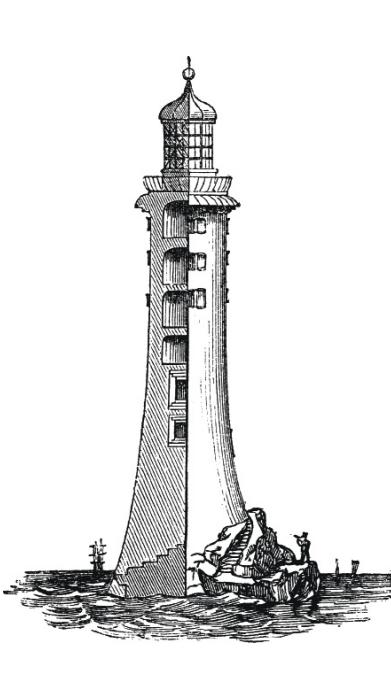
Dressé sur les récifs périlleux qui lui ont donné son nom, le phare d'Eddystone se trouve sur la côte du Devon, dans le sud de l'Angleterre. Si grande était la violence des éléments que les deux premiers phares construits essentiellement

en bois sur ce site furent rapidement détruits. L'ingénieur civil John Smeaton fut désigné pour ériger le troisième phare, au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle. Il s'inspira de la forme du chêne (plus large à la base, pour plus de stabilité) et construisit une structure en granit. Terminé en 1759, le phare demeura intact pendant presque un siècle avant que des réparations ne s'avèrent nécessaires. Sa solidité hors-norme n'était pas seulement liée à sa conception, radicalement novatrice, mais également à deux autres innovations : la chaux hydraulique, sorte de ciment utilisé à l'origine par les Romains et capable de prendre sous l'eau, et le recours à des assemblages en queue d'aronde pour fixer durablement les blocs de granit entre eux.

### LE CRYSTAL PALACE

On a longtemps cru que le Crystal Palace, palais d'exposition qui a accueilli en 1851 l'Exposition universelle de Londres, à Hyde Park, avait été inspiré par le nénuphar géant (*Victoria amazonica*), découvert par les Européens au début du XIX<sup>e</sup> siècle. Cette interprétation est aujourd'hui considérée comme erronée. Les premiers spécimens de la plante tropicale arrivèrent en Grande-Bretagne en 1847 et furent remis aux horticulteurs des jardins botaniques de Kew, qui eurent toutes les peines du monde à créer un environnement adapté à ces plantes. Une bouture fut envoyée à Joseph Paxton, jardinier en chef au château de Chatsworth House et horticulteur de talent. Paxton, qui était un ingénieur inventif, se servait de ses connaissances en botanique pour améliorer la conception des serres. Ses expériences en matière de construction l'ont conduit à mettre au point une toiture plissée permettant la création de structures de grande envergure entièrement constituées de verre et de fer, à l'image de la Grande serre de Chatsworth, l'immense verrière qu'il a conçue pour abriter le plant de *Victoria amazonica*. Ses efforts ont porté leurs fruits puisqu'en 1849, les premières fleurs de nénuphar géant produites en Angleterre voyaient le jour.

Fort de cette expérience réussie, Paxton soumit un projet de construction très ambitieux pour l'Exposition universelle de 1851. Ses idées reçurent un accueil positif, de sorte qu'on lui confia la réalisation du Crystal Palace, la plus vaste structure en fer et en verre au monde. Par la suite, il fut invité à donner une conférence à la Société royale des arts, au cours de laquelle il



+ + + + +  
+ À DROITE Détail de face inférieure  
d'une feuille de nénuphar géant.  
+ + + + +

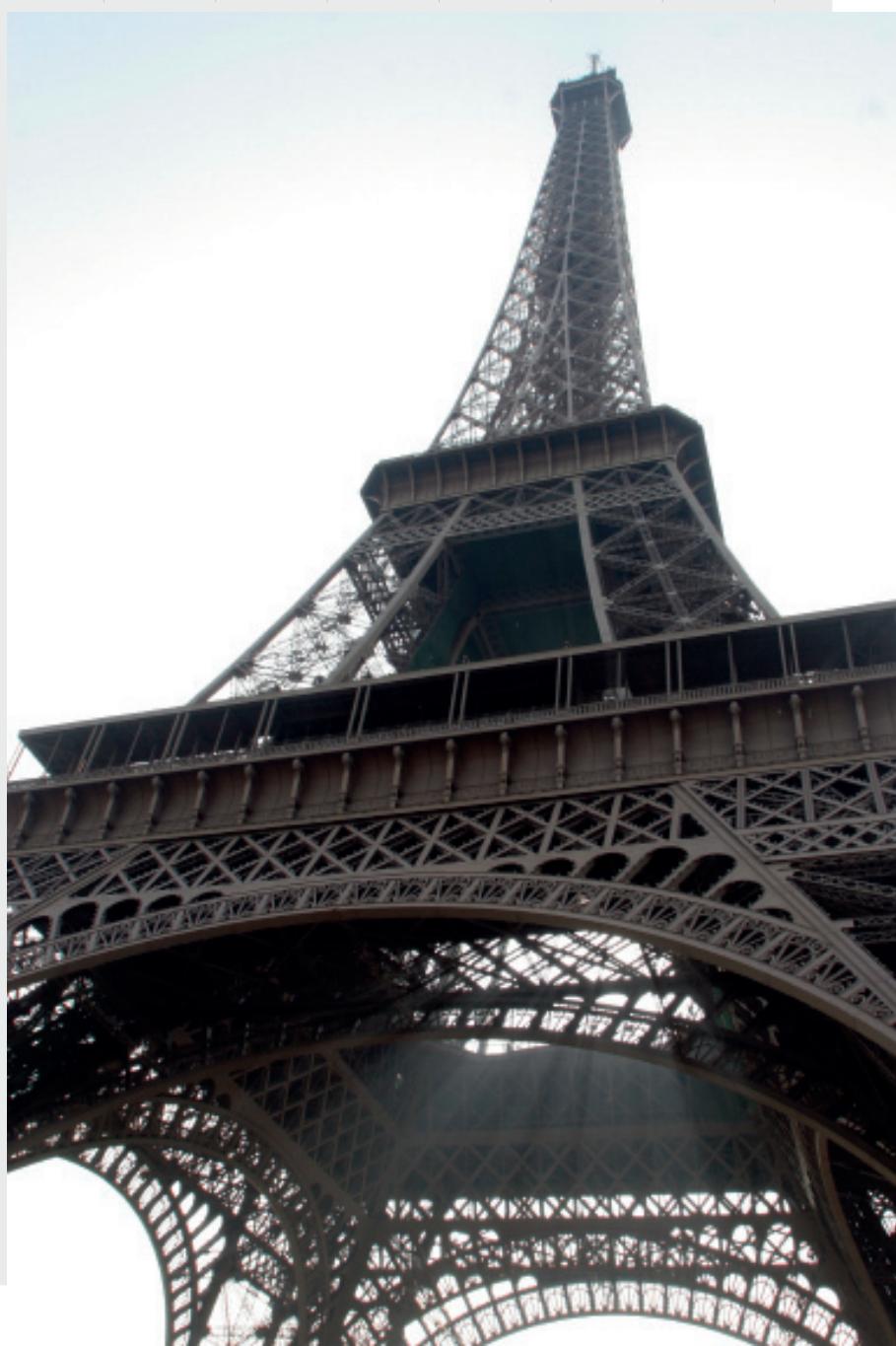
+ EN BAS Structure métallique  
de la tour Eiffel. + + + + +

+ + + + +  
présenta une illustration d'une feuille  
de nénuphar géant. Il semblerait qu'un journaliste  
présent dans le public ait mal saisi ses propos,  
+ donnant naissance à cette interprétation farfelue.  
+ S'il y a bien des similitudes entre la structure  
de cette feuille et le système de toiture  
du Crystal Palace, ce dernier s'apparente  
en réalité davantage à d'autres types de feuilles  
+ comme celles du hêtre. + + + + +

#### LA TOUR EIFFEL

Parmi les premières structures biomimétiques,  
+ citons également la tour Eiffel, construite  
pour l'Exposition universelle de 1889 à Paris.  
Gustave Eiffel était un ingénieur talentueux  
spécialisé dans les constructions métalliques  
+ constituées de poutres assemblées par  
des rivets. Le pont Maria Pia à Porto et l'armature  
de la Statue de la liberté, à New York, figurent  
parmi ses réalisations les plus connues.  
Pour cette tour, Eiffel se serait inspiré  
+ des travaux conjoints de l'anatomiste allemand  
Hermann von Meyer, dont l'étude de la structure  
interne du fémur humain a mis en évidence un  
enchevêtrement de fibres appelé travée et de  
+ l'ingénieur Suisse Karl Culmann, qui a modélisé  
mathématiquement ces fibres, les comparant  
aux entretoises et aux contreventements utilisés  
dans la construction. Les plans initiaux de la Tour  
+ Eiffel ont en réalité été dessinés en 1884 par  
deux de ses employés, Maurice Koechlin, ingénieur  
suisse élève de Karl Culmann et Émile Nouguier,  
ingénieur français. Eiffel, expert en constructions  
+ métalliques de grande envergure, les a améliorés  
en calculant la courbe que les piliers situés  
à la base devaient avoir pour résister à la charge  
du vent. Haute de 324 mètres, la Dame de fer,  
attraction phare de l'Exposition universelle  
de 1889 est aujourd'hui l'un des édifices  
les plus célèbres jamais construits.

+ + + + +  
+ + + + +  
+ + + + +  
+ + + + +  
+ + + + +



### + PLOTS ROUTIERS RÉFLÉCHISSANTS

Les plots routiers réfléchissants (aussi appelés *cat's eyes* en anglais), inventés par Percy Shaw, natif de Halifax, en Angleterre, constituent une avancée majeure en matière de sécurité routière. Shaw était un inventeur et un entrepreneur de génie. Dès l'adolescence, il inventa un processus de revêtement des tapis ainsi qu'une méthode de pompage du pétrole. À l'âge de 40 ans, alors qu'il gérait une société de réparation de routes et d'allées de jardin goudronnées, il inventa un rouleau mécanique pour faciliter le travail de ses équipes.

À l'époque, de nombreux automobilistes se fiaient au reflet de leurs phares sur la surface métallique lisse des voies des tramways pour se guider la nuit. Lorsque les tramways furent progressivement remplacés par les voitures et les bus, Shaw réalisa l'importance des surfaces réfléchissantes pour la conduite de nuit. L'idée de ces plots lui aurait été donnée par les yeux des chats, qui brillent dans la nuit et le brouillard, mais aussi par la lentille réfléchissante inventée par Richard Hollins Murray six ans plus tôt. Si Shaw a progressivement amélioré son dispositif, il s'est avant tout appuyé sur les propriétés optiques déjà connues des lentilles réfléchissantes, qu'il est parvenu à encastre dans des boîtiers robustes, faciles à produire à grande échelle et à moindre coût.



### + CI-DESSUS Gris plan d'un œil de chat.

De nombreux animaux dont le chat ont une couche réfléchissante située à l'arrière de la rétine appelée tapis choroidien ou tapis clair. C'est ce qui leur confère une bonne vision nocturne et des yeux phosphorescents la nuit, lorsqu'ils sont en présence d'une source de lumière.

### + À DROITE Plot routier réfléchissant.



## LE DESIGN BIOMIMÉTIQUE

Le cloisonnement entre les sciences, les technologies, l'ingénierie, les mathématiques et les domaines créatifs tend à s'atténuer, à l'image du rapprochement entre sciences et techniques qui s'est opéré dans les années 1950. La collaboration d'artistes et de designers avec des ingénieurs et des scientifiques ouvre des perspectives prometteuses. Petit à petit, ces derniers ont pris conscience de la nécessité d'un apport créatif dès les premiers stades de développement d'une innovation plutôt qu'à la fin, même si cette dynamique n'en est encore qu'à ses débuts.

Les collaborations de ce type varient sur le plan de l'échelle et des résultats, et regroupent aussi bien des amateurs curieux transformant leur maison en laboratoire que des bio-artistes, désireux de défier les conventions et de susciter le débat. C'est le cas par exemple d'Anna Dumitriu, une artiste britannique qui utilise des bactéries, des technologies robotiques et des textiles dans ses œuvres, estompant les frontières entre art et science. Ses travaux visent notamment à sensibiliser l'opinion à l'incidence des antibiotiques sur les bactéries et la santé publique. Intitulée *The Romantic Disease: An Artistic Investigation of Tuberculosis*, sa dernière exposition individuelle (2014)

interroge le rapport singulier que l'homme entretient avec cette maladie, abordant les superstitions qui l'entourent, les progrès des antibiotiques ainsi que les dernières recherches axées sur le séquençage du génome de la bactérie. L'artiste investit les laboratoires des microbiologistes avec lesquels elle collabore et les transforme par sa présence en espaces hybrides qui lui donnent accès à une variété de techniques non conventionnelles, telles que le séquençage du génome.

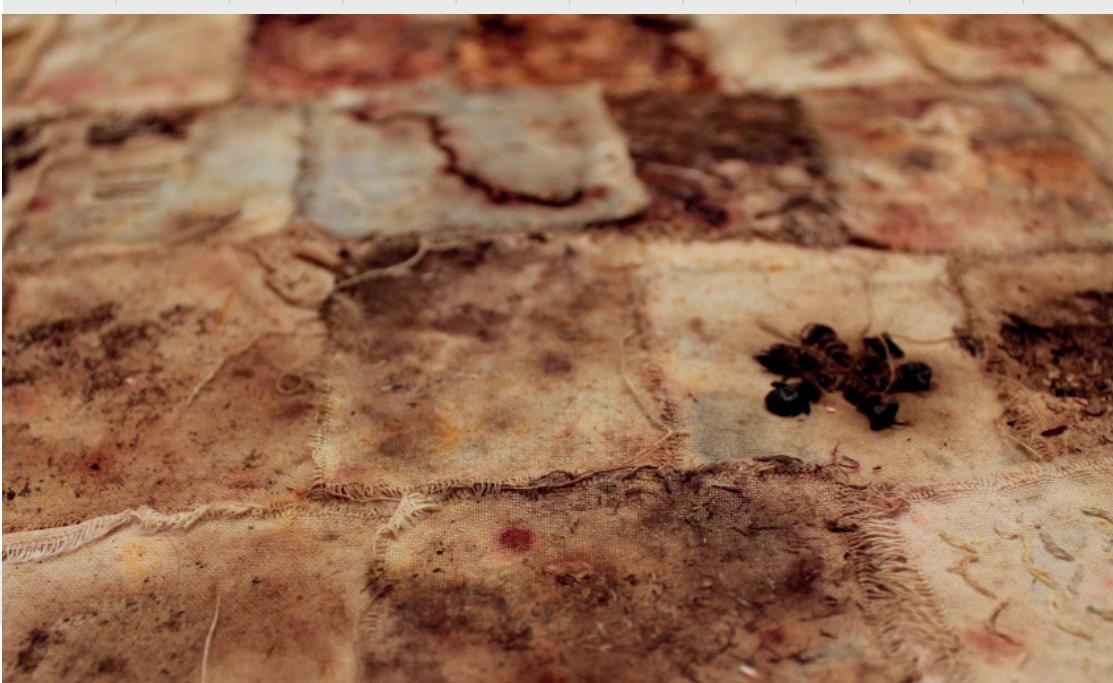
Poussés par la volonté de provoquer, de fabriquer des œuvres durables ou par la curiosité, de nombreux créateurs novateurs délaissent comme elle les médias, les méthodes et les espaces de travail conventionnels pour explorer de nouveaux territoires dans les domaines de la biologie, de l'ingénierie et des sciences. Science et créativité sont aujourd'hui intimement et définitivement liées.

La nature nous montre comment, en combinant des matériaux simples de manière intelligente, il est possible, avec peu de ressources, de réaliser des systèmes et des structures complexes bâtis sur des réseaux d'interdépendance. Si cette approche fait écho à de nombreux défis techniques auxquels les ingénieurs sont confrontés, les bénéfices sur le plan de la conception créative sont moins évidents, engendrant un paradoxe.



CI-DESSUS Dessinée par Gaudí, la basilique de la Sagrada Família à Barcelone est un exemple d'architecture biomorphe.

CI-DESSOUS Genius Germ (voir détail en bas, à gauche). Cette œuvre, qui s'inscrit dans la série *Romantic Disease* d'Anna Dumitriu (2014) est inspirée de *Los Genios! De Pablo Picasso* (1899–1900).



CI-DESSOUS Mur en pierres rustiques et aux couleurs vives. Les palettes de couleurs naturelles telles que celle-ci sont parfois qualifiées de biomimétiques.

*Si le biomimétisme n'a aucune incidence intentionnelle ni directe sur la conception au plan esthétique, car il s'intéresse aux applications technologiques des propriétés fonctionnelles des mécanismes biologiques, en quoi contribue-t-il à la création ?*



Le présent ouvrage s'attache à éclaircir ce paradoxe en abordant les grands principes biomimétiques sous l'angle du design.

Le biomimétisme est une discipline jeune, la définition de ses principes et de ses pratiques ayant alimenté ces dernières années d'importants débats. Des experts du domaine ainsi que des créateurs ont proposé tout à tour des listes de principes clés et de méthodes inspirés de la pratique, ainsi que des outils utiles pour comprendre la démarche, la gestion de projets et la conception biomimétiques. Si leurs contributions varient, plusieurs grands principes reviennent régulièrement (la liste ci-dessous a valeur d'exemple et ne prétend pas être exhaustive).

#### MAXIMISER LES RESSOURCES

Il s'agit de l'un des principes essentiels de ce que l'on appelle « conception intelligente » en biologie. Les ressources naturelles sont limitées, de sorte que les plantes et les animaux sont en compétition pour l'accès aux nutriments essentiels à la vie. Les acides aminés essentiels sont des molécules de protéines complexes qui ne sont pas produites par l'organisme, mais par des sources extérieures. Pour rester en bonne santé, il doit en consommer régulièrement. Si l'industrie agroalimentaire en procure abondamment aux humains, les animaux, eux, doivent en trouver dans leurs milieux naturels, où les ressources sont souvent limitées et font l'objet d'une compétition entre plusieurs espèces, d'où la nécessité de les utiliser à bon escient. En biologie, la forme et la structure constituent deux facteurs efficaces d'optimisation des ressources, et l'on dénombre une quantité d'organismes qui combinent des caractéristiques structurales et comportementales leur permettant de faire plus avec moins. Les baleines à bosse et les poisson-coffres sont deux exemples d'animaux dont la forme leur permet de se mouvoir en consommant peu d'énergie. Les nids d'abeilles et les coquilles d'ormeaux sont des exemples de structures hyperrésistantes bâties à partir de petites quantités de matériaux abondants et tendres.

#### UTILISER DES SOURCES D'ÉNERGIE ABONDANTES ET EN LIBRE ACCÈS

Si les animaux consacrent la majeure partie de leur temps à la recherche de nourriture, les systèmes qui utilisent des sources d'énergie abondantes et en libre accès, comme la lumière du soleil, abondent dans la nature. Cet ouvrage

aborde plusieurs exemples de mise à profit de sources d'énergie non conventionnelles qui remettent en cause notre dépendance à l'électricité et aux produits pétrochimiques (récupération d'eau par condensation de l'humidité atmosphérique ou transformation de la chaleur en énergie kinésique).

#### PRIVILÉGIER LA MULTIFONCTIONNALITÉ

Dans la nature, rares sont les organes qui ne remplissent qu'une fonction. Dans le monde végétal, les gousses constituent un environnement protecteur propice à la croissance des graines. Une fois parvenues à maturité, elles favorisent leur transport et leur dissémination. La peau rugueuse des requins limite la résistance aux fluides tout en empêchant les micro-organismes de se fixer.

#### TRANSFORMER LES DÉCHETS EN RESSOURCES

La Terre fonctionne en vase clos : hormis les météorites qui s'écrasent sur notre planète, celle-ci ne gagne ni ne perd aucune matière. Dans la nature, ces ressources finies sont précieuses et le gaspillage n'existe pas, à rebours de ce qui se produit dans nos environnements anthropisés, avec son lot de menaces pour les futures générations. La biologie peut nous aider à concevoir des matériaux performants et à utiliser ces ressources abondantes que sont les déchets plutôt qu'à les mettre en décharge.

#### S'INSPIRER DES CAPACITÉS DE PERCEPTION

ET D'ADAPTATION DES ORGANISMES VIVANTS

Les êtres vivants vivent en symbiose avec leur environnement tout en restant autonomes. Ils sont capables de percevoir et de s'adapter aux changements de leurs habitats, de communiquer, de guérir, de croître et de se reproduire. Si ces comportements sont d'une extrême complexité, leur étude et leur transposition dans le domaine des technologies constituent aujourd'hui l'une des pistes d'innovation biomimétique les plus prometteuses. La plupart des inventions dans ce domaine (matériaux programmables, robots qui s'assemblent tout seuls et divers appareils connectés) n'en sont encore qu'au stade du développement, mais leur arrivée sur le marché n'est pas si lointaine que nous l'imaginons.

CI-DESSOUS Un dôme géodésique est une structure sphérique dont l'armature en treillis se compose d'éléments triangulaires. Le qualificatif «biomimétique» est souvent appliqué à ce type de structure du fait de ses qualités esthétiques.

EN BAS Série de vases aux formes biomorphiques.



## L'AVENIR

L'Internet des objets (IdO, en anglais *Internet of Things* ou IoT) constitue aujourd'hui le principal axe d'innovation et d'évolution des technologies sur le plan des produits et des services. Il dessine un avenir où les produits, les services et les environnements intelligents interagiront de manière dynamique avec les individus.<sup>+</sup> Des objets ou appareils encore non connectés (douches, vêtements, machines à laver et voitures) intégreront des fonctionnalités intelligentes permettant l'échange d'informations grâce à des capteurs et à des déclencheurs. L'Internet des objets représente un changement de paradigme, à savoir le passage d'environnements statiques non connectés à un écosystème biologique fondé sur le principe biomimétique de la perception et de l'adaptation.

Les possibilités offertes par les matériaux avancés bouleversent notre vision actuelle des objets en tant que choses inanimées et nous font entrer dans une nouvelle ère de produits, de surfaces et de systèmes intelligents et connectés. Cette évolution ouvre des perspectives inédites<sup>+</sup> à des designers d'un nouveau genre, qui auront cependant la responsabilité d'orienter le développement de ces technologies et de les utiliser pour le bien de l'humanité. Comme l'affirmait Otto Herbert Schmitt en 1960, les avancées technologies ne sont pas à chercher du côté du passé. La combinaison des appareils et des produits existants n'offre que des possibilités limitées : souhaitons-nous vraiment intégrer des téléphones dans nos vêtements ? La solution consiste plutôt à identifier les nouveaux besoins d'un monde confronté à de nombreux défis comme le vieillissement de la population, la dépendance à l'égard de sources d'énergie qui se raréfient et la croissance démographique. Les designers ont décidément beaucoup à apprendre du mode de fonctionnement tout en sobriété de la nature.



CI-DESSUS Vue du district financier de Lujiazui (Shanghai) où se trouve la tour Shanghai, l'édifice le plus élevé de Chine. La ville abrite des exemples d'architecture ultramoderne, qui laissent entrevoir le visage des villes de demain. Le biomimétisme ouvre tout un champ de possibles dans les domaines de l'architecture et de l'urbanisme.

CI-CONTRE Exemple de façade biomorphique. L'enveloppe d'un édifice modifie son apparence tout en remplaçant des fonctions classiques telles que la protection contre le feu. Les façades ou enveloppes constituent un domaine d'innovation prometteur en matière d'architecture biomimétique.

