

Préface de Gilles Boeuf

JEAN-PHILIPPE CAMBORDE

# BIOMIMÉTISME

*Il y a du génie dans la nature !*





JEAN-PHILIPPE CAMBORDE

*Préface de Gilles Boeuf*

# BIOMIMÉTISME

*Il y a du génie dans la nature !*

Éditions Quæ

Éditions Quæ  
RD 10  
78026 Versailles cedex  
[www.quae.com](http://www.quae.com)

© Éditions Quæ, 2018  
ISBN (papier): 978-2-7592-2891-1  
ISBN (PDF) : 978-2-7592-2892-8  
ISBN (ePub) : 978-2-7592-2893-5

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction même partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

# SOMMAIRE

Remerciements	5
La nature nous inspire	7
Les enjeux du biomimétisme	9
LES DENTICULES DE LA MER	15
DES SINGES ET DES PLANTES	19
L'ARAIGNÉE, INGÉNIEUR EN CHEF	23
DES CHAMPIGNONS GUÉRISSEURS	27
DES FOURMIS BIEN ORIENTÉES	31
DES AILES DANS LA VILLE	35
LE PAPILLON SOLAIRE	39
UNE LUMIÈRE NATURELLE	43
DES PLANTES POUR LA CHIMIE VERTE	47
UNE BOUILLOIRE NATURELLE	53
DES OURS BIEN MUSCLÉS	57
LE VER DONNEUR DE SANG	61
UNE COLLE QUI AIME L'EAU...	65
LA MOQUETTE, LA FORÊT ET LE LÉZARD	69

MÉTÉO-SENSIBLE COMME LA POMME DE PIN	73
COMME UN POISSON DANS L'EAU	77
LE VERRE DES DIATOMÉES	81
DES BACTÉRIES RÉPARATRICES	85
UNE « ALGRICULTURE » VERTICALE	89
LA ZONE LIBELLULE	95
LE SOUFFLE D'AIR DU GRILLON	99
VOLER COMME LES OISEAUX	103
LE LOTUS ET LE FAKIR	107
DES ENZYMES PLEINES D'ÉNERGIE	111
LE SCARABÉE COLLECTEUR D'EAU	115
CONSTRUIRE COMME LE CORAIL	119
ULTRAVOIR COMME LA CHAUVE-SOURIS	123
LE MANCHOT ET LES BACTÉRIES	127
VENISE SAUVÉE PAR DES ROBOTS BIO-INSPIRÉS	131
L'ŒIL CAMÉRA	135
Le biomimétisme sur la toile	141
Crédits photographiques	143

# REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de la série de films *Nature = Futur !* dont est extraite la majorité des démarches innovantes présentées ici.

En premier lieu, les coproducteurs de cette série, qui ont permis à ces films d'être diffusés avec succès et de rencontrer l'enthousiasme du public, tout comme les passionnants chercheurs et entrepreneurs, cités dans cet ouvrage, qui s'inspirent de la nature pour nous offrir des solutions adaptées et durables. Il les remercie tout particulièrement de l'avoir autorisé à utiliser leurs propos pour écrire ce livre et des images issues de ces films pour l'illustrer. De même, l'auteur exprime sa reconnaissance au réalisateur et coauteur de cette série, Pascal Moret, ainsi qu'à Kalina Raskin et Tarik Chekchak pour leurs précieux conseils. Son étroite collaboration avec le CEEBIOS (Centre européen d'excellence en biomimétisme de Senlis) lui a également permis de réaliser cet ouvrage.

Enfin, ce beau livre n'aurait pu voir le jour sans les soutiens bienveillants de Jacques Livage et Gilles Boeuf en tant que parfaits conseillers scientifiques et spécialistes de la biodiversité.



# LA NATURE NOUS INSPIRE

En 1997, sort un livre aux États-Unis écrit par Janine M. Benyus, sous le titre de *Biomimicry, Innovation inspired by nature*, traduit en français par *Biomimétisme, Quand la nature inspire des innovations durables*<sup>1</sup>. Il va alors bien structurer des approches finalement démarrées depuis fort longtemps mais jamais réellement organisées. Léonard de Vinci, au XVI<sup>e</sup> siècle, n'écrivait-il pas déjà : « prenez vos leçons dans la nature, c'est là qu'est notre futur... » !

Le biomimétisme ou la bio-inspiration sont une approche consistant à étudier la nature sous toutes ses formes — animaux, plantes, micro-organismes, écosystèmes — et à en tirer des développements technologiques : on s'en inspire alors afin de concevoir des matériaux, des stratégies ou des procédés novateurs au service de l'humain, moins polluants, moins consommateurs d'énergie, recyclables, plus sûrs, de meilleure qualité et à moindre coût.

Janine M. Benyus les définissait en 1997 comme une « démarche d'innovation, qui fait appel au transfert et à l'adaptation des principes et stratégies élaborés par les organismes vivants et les écosystèmes, afin de produire des biens et des services de manière durable, et rendre les sociétés humaines compatibles avec la biosphère... ».

Le potentiel offert par le monde vivant est immense. L'extraordinaire diversité qui le caractérise en fait un « réservoir à idées » unique pour nos chercheurs et nos ingénieurs. On connaît, sur les continents, un peu plus de 1,7 million d'espèces décrites et déposées dans les musées, et 300 000 espèces ont été recensées dans les océans, tout ceci né d'une géodiversité antérieure longue de quelques 700 millions d'années avant l'apparition de la vie il y a 3,85 milliards d'années. Quelle extraordinaire diversité de sujets d'analyse possibles !

Un ouvrage tel que celui proposé par Jean-Philippe Camborde redynamise, s'il en était besoin, cette notion de bio-inspiration à des fins durables mais surtout ouvre le sujet à un très vaste public sous une manière pédagogique et attractive.

En effet, l'image est essentielle et la multiplicité des sujets choisis en renforce l'impact. Aussi, devons-nous choisir judicieusement des exemples et raconter une histoire pour chacun, expliquer comment d'une démarche d'observation aiguë et de compréhension de faits et de mécanismes, nous sommes parvenus à en déduire ou à en appliquer un développement technologique et économique.

## Page de gauche

Le projet Ecotone à Arceuil est le premier immeuble entièrement biomimétique et écosystémique. Conçu par des architectes et des scientifiques, il s'inspire de la nature à la fois dans sa structure et ses matériaux, mais aussi dans son organisation, ses échanges, son évolution et ses usages.

---

1. Sorti en 2011, aux éditions Rue de l'Échiquier.

Aujourd'hui, les exemples sont nombreux et depuis le développement de la bande « velcro » dans les années cinquante, inspirée des extraordinaires capacités des micro-crochets de la graine de bardane, nous avons beaucoup progressé.

Puisse ce livre faire réfléchir, aimer et admirer la nature et nous aider à réharmoniser nos relations avec elle. Cessons d'opposer environnement et activités économiques et participons tous à protéger ces milieux qui nous entourent au lieu de les souiller et les détruire ! Si nos avions volent aujourd'hui, et ce depuis 150 ans, c'est bien grâce aux oiseaux qui eux, ont conquis les cieux, il y a 150... millions d'années !

*Gilles Boeuf, professeur à Sorbonne Université,  
président du Conseil scientifique de l'Agence française pour la biodiversité*

# LES ENJEUX DU BIOMIMÉTISME

La nature, soit tous les êtres et organismes vivants sur Terre, n'a eu de cesse, depuis 3,85 milliards d'années, de faire prospérer la vie.

Se sont ainsi créés et développés des écosystèmes, des espèces et des organismes dont les formes, les structures ou les stratégies uniques ont su s'adapter en permanence aux changements et aux crises.

On doit aux progrès de la science et à la démarche biomimétique, en pleine expansion depuis quelques années, de révéler les arcanes de ce monde vivant et de nous faire découvrir que cette évolution vitale est tout autant technologique qu'équilibrée, tout aussi complexe qu'évidente.

Complexe au regard des prouesses chimiques, physiques et multifonctionnelles élaborées. Un peu comme si nous voyagions sur une planète efficiente et futuriste, peuplée d'individus extrêmement doués, en interaction les uns avec les autres et avec leur environnement.

Évidente au regard des principes fondamentaux, dits du vivant, qui régissent ces prouesses. Des principes que nous sommes pour l'instant très peu en mesure d'appliquer — de surcroît de façon conjuguée — à toutes les réalisations ou productions humaines : économie de matériaux, économie et autonomie d'énergie, partage continu de l'information, optimisation, coopération et collaboration, zéro déchets, fonctionnement en cycles, résilience, durabilité.

Ce monde si prometteur ne relève pourtant pas de la science-fiction ! Nous le côtoyons chaque jour. Il est la réalité de nos jardins, nos campagnes, nos forêts, nos fleuves ou nos océans. Là se trouvent les champions d'un développement exemplaire.

L'homme s'enthousiasme aujourd'hui pour ces extraordinaires performances de la nature. Il prend conscience des perspectives inédites qui s'offrent à lui s'il réussit à s'en inspirer. Du papillon *Morpho* à l'ours, des champignons au toucan, des cyanobactéries à l'araignée, des fourmis au manchot royal, du corail aux grands singes, tous ont quelque chose d'incroyable à nous apprendre !

Mais le but du biomimétisme n'est pas seulement de nous faire comprendre « qu'il y a du génie » dans la nature et de tenter de le copier ; il permet de repenser nos organisations et les aspirations de nos sociétés. On l'applique désormais dans pratiquement tous les domaines afin de trouver des solutions pleines d'espoir et résoudre les problèmes et impasses auxquels nous sommes confrontés. Les défis de nos sociétés humaines sont justement de redéfinir un progrès qui n'ait plus à l'avenir de conséquences néfastes pour l'ensemble des espèces

vivantes sur Terre et n'épuise, ni ne détruit, les ressources naturelles et la biodiversité, tout en partageant les bénéfices engendrés. Le génie du biomimétisme est peut-être d'incarner ce nouveau progrès ou, du moins, de l'orienter sur des voies profitables à tous.

Cet ouvrage montre à travers 30 exemples de démarches biomimétiques et bio-inspirées, choisies parmi beaucoup d'autres, comment de remarquables chercheurs, innovateurs et entrepreneurs réussissent à inventer ce monde durable de demain.

*Page de droite*

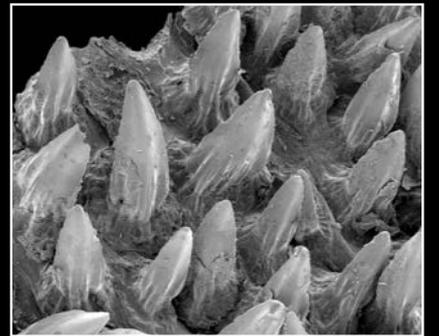
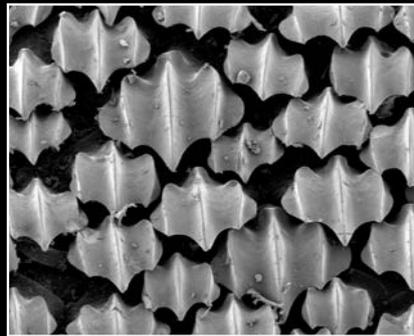
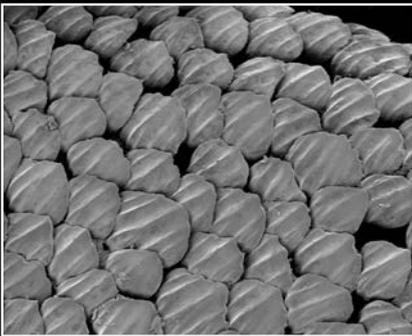
Le projet SeaOrbiter, de l'architecte Jacques Rougerie, est une maison sous-marine mobile de 58 m en aluminium recyclable, équipée de 2 éoliennes et 340 m<sup>2</sup> de panneaux solaires.

Sa forme s'inspire de l'hippocampe afin de mieux explorer les océans.







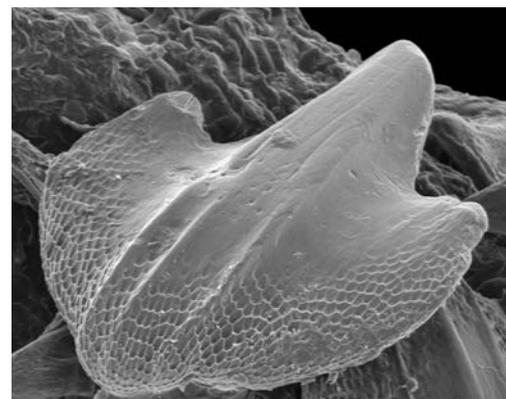


# LES DENTICULES DE LA MER

Depuis leur apparition sur Terre, il y a 430 millions d'années, les requins se sont remarquablement adaptés à leur environnement. Ils représentent un ensemble de plus de 400 espèces qui n'a pratiquement pas évolué depuis. On en trouve dans tous les milieux aquatiques : eaux douces ou marines, froides comme chaudes, de la surface aux grandes profondeurs. Ils s'y déplacent avec une déconcertante facilité, pouvant atteindre des vitesses de 20 à 35 km/h comme lors de la capture d'une proie, le champion étant le requin bleu, avec ses pointes à 69 km/h. À l'évidence, cette capacité à se mouvoir très rapidement est essentiellement liée à la morphologie de leur corps en torpille et à leur nageoire caudale, élément moteur de la propulsion et des changements de direction.

Est-ce que leur peau, qui paraît lisse, joue elle aussi un rôle hydrodynamique ? Le requin possède, à vrai dire, un revêtement cutané très particulier qui le dote de propriétés uniques. Si on caresse un requin du museau vers la queue, la main glisse et sa peau semble lisse, mais si on le caresse en sens inverse, elle accroche et s'avère rugueuse. Elle comporte en fait à sa surface de minuscules denticules cutanés, sorte d'« écailles » généralement pointues, dont la structure est la même qu'une dent, dirigées de l'avant vers l'arrière. Tout le corps du requin en est recouvert. Très durs et résistants, ces denticules tombent et repoussent continuellement, et lui permettent avant tout de pénétrer plus facilement dans les fluides. Mais de quelle façon exactement ?

À l'œil nu, on peut facilement observer que la couronne de ces denticules, autrement dit leur partie visible qui pointe de sous la peau, est ornementée de carènes et de sillons. Les analyses au microscope électronique ont même permis de découvrir des structures complémentaires en nids d'abeille chez de nombreuses espèces. Le développement de ces structures, de même que la forme de la couronne et leur imbrication, permettent de maintenir une pellicule d'eau au plus près de son corps lors des déplacements. On appelle ce phénomène, bien connu en aérodynamique, l'effet Riblet. Plus précisément encore, les sillons et les carènes des denticules canalisent les flux d'eau en contact qui deviennent laminaires, ce qui signifie que ces flux s'écoulent tous dans la même direction et empêchent l'apparition de turbulences. En complément du mucus produit par la peau, la fine pellicule d'eau ainsi créée réduit et diminue les forces de frottement, ce qui permet



La structure d'un denticule cutané présente une couronne, des carènes et des sillons. Suivant les espèces, la taille des denticules varie d'un dixième de millimètre à plusieurs millimètres. Photo au microscope électronique.

## *Double page précédente*

Des rassemblements de requins gris peuvent compter jusqu'à plusieurs centaines d'individus durant les cycles lunaires afin de chasser en groupe.

## *Page de gauche*

Le requin taureau a la faculté de stagner sous l'eau sans nager grâce à de l'air avalé en surface et stocké dans son ventre pour ajuster sa flottabilité.

Photos noir et blanc : denticules cutanés de différentes formes vus au microscope. Ces milliers de denticules composent, sous la peau, l'exosquelette des requins.



Peau de requin sous laquelle on distingue la pointe des denticules (à gauche) et structure en 3D qui copie leur forme et leur agencement (à droite).



aussi au requin d'être silencieux au niveau hydrodynamique et de ne pas se faire repérer par la plupart de ses proies. Il dépense alors beaucoup moins d'énergie pour se mouvoir : de quoi optimiser et aller plus vite encore !

Les ingénieurs de la Nasa, dans les années 1980, et ceux de l'aéronautique, dans les années 1990, ont cherché à imiter ce type de revêtement pour améliorer l'aérodynamisme et réduire les forces de frottement des navettes et des avions. L'entreprise scientifique américaine Sharklet s'est elle intéressée à la manière dont la peau des requins arrivait à être dépourvue de petits parasites ou de micro-organismes vivants. Là encore, ce sont la forme et la disposition particulière de ces denticules cutanés qui les empêchent de se fixer. Les chercheurs de Sharklet se sont alors demandé si des revêtements identiques ne pourraient pas

### *L'immunité du requin*

La structure de la peau du requin diminue la traînée, soit la force qui s'oppose au mouvement d'un corps dans un liquide ou un gaz. Ces performances aérodynamiques intéressent bien sûr des constructeurs comme Airbus ou Peugeot qui ont respectivement testé un vernis et un textile pour recouvrir leurs avions et leurs futures automobiles.

Mais le requin nous réserve d'autres surprises liées à son métabolisme. Bien qu'étant un poisson, son système immunitaire est très proche de celui de l'homme. Comme il vit en eau salée, son taux d'urée dans le sang est plus élevé que le nôtre, ce qui soumet ses cellules et autres composantes de son corps, à des conditions particulières. Le requin a ainsi développé des anticorps spécifiques qui sont parmi les plus stables du monde vivant, c'est-à-dire avec une durée de vie plus longue du fait de liaisons chimiques supplémentaires dans leur structure moléculaire.

Or, des chercheurs australiens ont découvert qu'un de ces anticorps pouvait tuer les cellules à l'origine de la fibrose pulmonaire idiopathique chez l'homme, une maladie jusque-là incurable qui rigidifie progressivement les poumons et réduit peu à peu les fonctions respiratoires des malades.



Un avion dont le fuselage serait recouvert d'un revêtement imitant la peau de requin pourrait économiser 1 % de son carburant.



empêcher d'autres organismes, y compris des bactéries, de s'accrocher. Ils ont donc mené des études approfondies qui ont démontré qu'avec des structures de très petites tailles (de seulement 3 microns environ) imitant les denticules cutanés de requins, on empêchait des bactéries pathogènes très résistantes, comme les staphylocoques dorés, de se fixer. Non seulement les bactéries se fixent plus difficilement, mais elles sont également dans l'incapacité de développer le biofilm qui leur permet normalement de s'étendre sur une surface et de propager des pathologies graves, comme cela arrive avec les maladies nosocomiales qui hantent nos hôpitaux.

En s'inspirant directement de la peau des requins, Sharklet a ainsi réussi à mettre au point de nouveaux revêtements réduisant de 94 % la propagation des bactéries par rapport à une surface classique ! Ces revêtements peuvent être appliqués à la fois sur les parois des salles d'opération et les appareils ainsi que sur les cathéters ou les sondes, qui sont les instruments qui véhiculent le plus les infections.

Un patient sur cinq en France est concerné par une infection nosocomiale contractée durant son séjour à l'hôpital, et on dénombre 4 000 décès qui en seraient la cause directe. La diminution de ces infections réduirait par la même les coûts très élevés de leurs traitements. Qui aurait pu imaginer que les « dents de la mer », venues du fond des âges, nous aideraient aujourd'hui à lutter contre nos propres bactéries pathogènes ?

Le requin à pointes noires est un excellent nageur. Il est capable d'accélération fulgurantes, jusqu'à 37 km/h.

