

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**

Faculté des sciences

Département de Chimie



Domaine: Science de la matière

Filière: Chimie

***MEMOIRE DE MASTER***

**Spécialité: Chimie de l'environnement**

***THEME***

**Biomimétisme et Environnement**

*Présenter par:* **OUMELLAL Lynda**  
**NAIT ACHOUR Latifa**

*Le Jury composé de:*

<b>REHAL Foudil</b>	<b>MAA</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Président</b>
<b>MECHOUET Mourad</b>	<b>MCA</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Encadreur</b>
<b>BENCHOULAK Mounir</b>	<b>MAA</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Examineur</b>
<b>TAOUINT AISSA Nadia</b>	<b>Doctorante</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Co-Encadreur</b>

**Promotion 2019/2020**

## Remerciements

*Nos profonds et sincères remerciements vont en premier lieu à notre encadreur **Monsieur .MECHOUET Mourad** maitre de conférence A à l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, pour le choix du thème, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et surtout pour sa patience dans la correction.*

*Nous tenons également à remercier les membres du jury pour avoir accepté de lire et d'évaluer notre travail.*

*Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département de chimie.*

*On adresse également nos remerciements à Madame Taouint Aïssa Nadia doctorante en chimie de l'environnement à l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.*

*A tous nos amis(es) pour leur soutien, et qui sont notre seconde famille, nos remerciements s'étendent également aux étudiants de Master promotion 2018-2019, particulièrement à ceux de master environnement avec qui on a pu former une famille.*

*On remercie également toutes les personnes de notre entourage qui ont bien voulu se prêter à une relecture attentive et sérieuse de notre travail.*

## Dédicace

### *A La mémoire de ma mère (Zohra)*

*Ce mémoire est dédié à ma mère parti trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. J'espère que, du monde qui est sien maintenant cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme, Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !*

### *A mon cher père (Mohand)*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être Je te remercie pour tout le soutien et l'amour que tu m'as porté depuis mon enfance. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés le fruit de vos innombrables sacrifices, Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.*

*Je te remercie Anissa pour tes conseils et ta tendresse ainsi que toute ta famille.*

### *A mon cher mari Koucy et mon ange Léa*

*Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon amour et mon attachement à toi et ma princesse Léa.*

*Depuis que je t'ai connu, tu n'as cessé de me soutenir et de m'épauler tu me voulais toujours le meilleur ton amour ne m'a procuré que confiance et stabilité*

*Tu as partagé avec moi les meilleurs moments de ma vie, aux moments les plus difficiles de ma vie, tu étais toujours à mes cotés, Je te remercie de ne m'avoir jamais déçu.*

*Aucun mot ne pourrait exprimer ma gratitude, mon amour et mon respect. Puisse le bon dieu nous procure santé et longue vie.*

### *A ma chère grand-mère« Azizou »*

*Que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que tu n'as cessé de formuler dans tes prières. Que Dieu te préserve santé et longue vie.*

***A mes tantes « Aourdía, Fatíha », mes cousins et cousines (La jíj).***

*A une famille au sein de laquelle je me suis toujours senti chez moi et qui m'ont toujours considéré comme une des leurs.*

*Qu'il me soit permis de vous exprimer à travers ce travail, mon respect, mon amour, ma gratitude pour vous et ma vive reconnaissance*

***A ma tante « Fazía » et ses enfants « Amazígh, Lydía, Kenza »***

*Je ne trouverai jamais l'expression forte pour vous exprimer mon affection trouvez ici l'assurance de mon profond respect et de mon fidèle attachement*

***A mes beaux Parents, ma belle sœur, son mari et ses enfants.***

*Vous m'avez accueilli les bras ouverts. je vous dédie ce travail en témoignage de mon grand respect et mon estime envers vous. J'importe dieu qu'il vous apporte santé et bonheur.*

***A mes meilleures amies « Feroudja et Nadíne »***

*En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère je vous aime.*

***A ma chère binôme « Latífa »***

*Je te remercie pour ta patience, ton courage et ton aide, sans oublier les bons moments qu'on a passé ensemble durant ce travail.*

***« Lynda »***

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

- La mémoire de mes chers parents*
- Mes chers enfants Ilyas et Lisa*
- Mes chers frères et sœurs*

*« Latifa »*

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Félin à dents de sabre.....	4
<b>Figure 2</b> : Outils préhistorique et silex taillés .....	4
<b>Figure 3</b> : Ornithoptère, esquissé par Léonard de Vinci.....	5
<b>Figure 4</b> : Eole inspiré des roussettes des indes .....	5
<b>Figure 5</b> : Nombre de publications comprenant le terme « biomimicry » depuis1982.	9
<b>Figure 6</b> : Les fondements du biomimétisme.....	10
<b>Figure 7</b> : Les principes de la vie .....	11
<b>Figure 8</b> : Les principes de la vie .....	12
<b>Figure 9</b> : Squelette interne en verre de l'éponge hexactinellide.....	18
<b>Figure 10</b> : Le train de Shinkansen inspiré du bec du martin pêcheur.....	19
<b>Figure 11</b> : Effet lotus avec des gouttes d'eau tombent sur la surface.....	19
<b>Figure 12</b> : Façade sans et avec le revêtement autonettoyant .....	19
<b>Figure 13</b> :Peau de requin vu au microscope .....	20
<b>Figure 14</b> : Fonctionnement de l'Eastgate Center,architecte Mike Pearce.....	21
<b>Figure 15</b> : Système de ventilation naturelle d'une termitière.....	21
<b>Figure 16</b> : La bardane et le velcro(Scratch).....	21
<b>Figure17</b> : Arbre à vent .....	25
<b>Figure 18</b> : Le système Dual Wing Generator .....	26
<b>Figure 19</b> : Nouvelle éolienne inspiré du colibri .....	26
<b>Figure 20</b> : Eolienne « nageoires de baleine ».....	27
<b>Figure 21</b> : Eolienne libellule.....	27
<b>Figure 22</b> : La smartflower(fleur intelligente).....	29
<b>Figure 23</b> : Arbre solaire photovoltaïque. ....	29
<b>Figure24</b> : Des guirlandes LED inspirées de Lucioles.....	31
<b>Figure 25</b> : Mycélium de champignon et mycoremédiation.....	32
<b>Figure 26</b> : Installation industrielle contenant des biopolymères marin contre le. fouling.....	32
<b>Figure 27</b> :Ciment mis au point par Biomason inspirée du corail rouge .....	33
<b>Figure 28</b> : Inspiré du champignon pour remplacé le polystyrène .....	33
<b>Figure 29</b> : La voiture bionique.....	34
<b>Figure 30</b> :La tour Ghenki inspirée d'une éponge de mer .....	35

<b>Figure 31</b> Stade de la plata en argentine.....	36
<b>Figure 32</b> : Bâtiment à membrane et toitures modernes.....	36
<b>Figure 33</b> : Un robot chirurgical mimé d'une pieuvre.....	37
<b>Figure 34</b> : Des piqûres indolores grâce aux moustiques.....	37
<b>Figure 35</b> : Pansement médical inspiré du fil d'araignée.....	38
<b>Figure 36</b> : La crevette-mante.....	39
<b>Figure 37</b> : Le pacemaker biomimétique.....	40

## **Liste des abréviations**

**CGDD** : Commissariat Général du Développement Durable.

**FRB** : Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité.

# Sommaire

Liste des figures	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I :Biomimétisme: définition, genèse, méthodologie et enjeux</b>	
I-1 Introduction .....	3
I-2 Etymologie et définition.....	3
I-3 Emergence du biomimétisme.....	3
I-4 Précisions lexicales.....	6
I-4-1 Bio-inspiration« Bioinspiration ».....	7
I-4-2 Bionique « Bionics ».....	7
I-4-3 Biomimétisme « Biomimicry ».....	7
I-4-4 Biomimétique « Biomimetic ».....	7
I-4-5 Autres termes .....	7
I-5 Pourquoi le biomimétisme maintenant ?.....	8
I-6 Méthodologie du biomimétisme.....	9
I-6-1 Fondements du biomimétisme.....	10
I-6-1-1 Ethos.....	10
I-6-1-2 Re connecter.....	10
I-6-1-3 Emuler .....	10
I-6-2 Principes du vivant.....	10
I-6-2-1 Le système Terre est fini et borné .....	11
I-6-2-2 Environnement en équilibre dynamique.....	11
I-6-2-2-3 La planète est basée sur l'eau.....	12
I-6-3 Processus du biomimetisme.....	12
I-6-3-1 Biologie influençant la conception.....	12
I-6-3-2 Conceptions cherchant dans la biologie.....	13
I-7 Enjeux du biomimétisme.....	13
I-7-1 Enjeux éthiques.....	13
I-7-2 Enjeux socioéconomique.....	13
I-7-3 Enjeux environnementaux.....	13
I-7-4 Enjeux d'innovations .....	13

I-8 Réglementation internationale sur le biomimétisme.....	14
I-9 Outils pour le biomimétisme.....	14
I-10 Problèmes résolus par le biomimétisme.....	16
I-10-1 Exemple de fabrication du verre.....	17
I-10-1-1 Fabrication industrielle.....	17
I-10-1-2 Comment la nature fait-elle ?.....	18
I-11 Exemples notable de biomimétisme.....	18
I-12 Niveaux du biomimétisme .....	19
I-12-1 Biomimétisme des formes et de surface .....	19
I-12-2 Biomimétisme des matériaux et des procédés.....	20
I-12-3 Biomimétisme des systèmes (l'écosystème).....	22
I-13 Conclusion .....	23

## **Chapitre II : Production et stockage d'énergie**

II-1 Introduction .....	24
II-2 Energie hydraulique et biomimétisme.....	24
II-2-1 Biostream et biowave.....	24
II-2-2 L'hydrolienne ondulante d'EEL energy.....	24
II-3 Energie éolienne et biomimétisme.....	24
II-3-1 Arbre à vent : l'éolienne biomimétique.....	25
II-3-2 Des éoliennes qui s'inspirent des oiseaux.....	25
II-3-3 Des éoliennes qui s'inspirent des baleines à bosse.....	26
II-3-4 Eolienne inspirée des libellules .....	27
II-4 Energie solaire et biomimétisme.....	27
II-4-1 La photosynthèse artificielle.....	27
II-4-2 Le panneau solaire en forme de fleur .....	28
II-4-3 L'arbre solaire « eTree ».....	29
II-5 Conclusion .....	30

## **Chapitre III : Divers domaines d'applications du biomimétisme**

III-1 Introduction .....	31
III-2 Domaines d'application du biomimétisme .....	31
Partie A Environnement et économie d'énergie .....	31
III-2-A-1 Construction auto-ventilées.....	31
III-2-A-2 Pouvoir lumineux des lucioles.....	31

III-2-A-3 Champignon champion de la dépollution.....	32
III-2-A-4 Biopolymères marins contre le fouling.....	32
III-2-A-5 Biomatériaux.....	33
III-2-A-6 Champignons algues (biodégradable) .....	33
III-2-A-7Peau de requin dans l’aviation .....	34
III-2-A-8 Poisson coffre et la voiture (Benz-Mercedes).....	34
Partie B (Autres cas du biomimétisme)	
III-2-B-1 Domaine architectural (nature et bâtiments).....	35
III-2-B-1-1 L’éponge de mer .....	35
III-2-B-1-2 Toitures inspirées de la toile d’araignées .....	36
III-2-B-2 Domaine de la médecine.....	36
III-2-B-2-1 Peau de requin, répulsif bactérien .....	36
III-2-B-2-2 Poulpe (robot chirurgical).....	37
III-2-B-2-3 Aiguilles médicales inspirées de la trompe du moustique .....	37
III-2-B-2-4 Pansement inspiré du fil d’araignée.....	38
III-2-B-2-5 Hibernation pour lutter contre l’atrophie musculaire.....	37
III-2-B-2-6 Yeux de crevette pour voir des cellules infectées.....	39
III-2-B-2-7 Pacemaker.....	39
III-3 Conclusion .....	40
Conclusion générale.....	41

Références bibliographiques

Résumé

# **Introduction générale**

*«Le génie de l'homme peut produire de nombreuses inventions grâce à la mise en œuvre de divers instruments contribuant au même but. Cependant, il n'en fera jamais de plus belles, de plus simples ou de plus adaptées que celles de la nature. Car, dans ses inventions à elle, rien ne manque et rien n'est superflu »*

*Léonard De Vinci*

Inventer et innover a toujours été fondamental en ingénierie pour le développement des sociétés. Ceci va de pair, en tout cas de nos jours, avec les questions de pollutions environnementales, qui se posent de façon urgente. En effet, il est aujourd'hui communément admis que la planète fait face à une crise environnementale majeure (réchauffement climatique, épuisement des ressources naturelles, extinction des espèces végétales et animales...), dont l'action de l'Homme est la cause majeur. De plus, à brèves et moyennes échéances, ses effets devraient aller en s'accroissant, dans le cas où notre vision du monde ne change de façon radicale, à travers un changement de paradigme. Désormais, les réflexions et les actions à l'échelle locale, et même globale, se conjuguent afin d'apporter des réponses concrètes.

Cela se passera, probablement en imaginant des solutions à des problèmes auxquels l'être humain fait face, en s'inspirant de la nature, ce dont le biomimétique s'intéresse. Cette dernière propose une démarche alternative aux approches classiques, peu écologiques et faisant largement appel à des ressources non renouvelables. Le biomimétique constitue alors un retour à un paradigme délaissé, basé sur l'observation de la nature, laboratoire de recherche et développement établi depuis 3.8 milliards d'années, qui vise à inspirer les innovations humaines [1] En effet, l'homme s'est toujours inspiré de la nature, et ce, depuis l'aube du développement des premières civilisations. Cependant, la compréhension du « génie de la nature » n'était possible que depuis quelques siècles, avec le développement de la science et des techniques ainsi que l'accès qu'ils permettent à la découverte des principes qui gouvernent le vivant.

La présentation de ce travail se fera en 3 parties différentes, à savoir, le 1er chapitre va définir la démarche biomimétique d'en faire sommairement la genèse, d'exposer sa méthode et d'en présenter les applications notables, en rapport aux différents niveaux du biomimétisme. Ensuite, nous allons exposer quelques exemples de conception biomimétisme,

visant à produire de l'énergie et à la stockée, lors du 2ème chapitre, et ensuite des exemples, dont la finalité peut être relié à l'écologie, qui seront regroupés dans le chapitre 3.

**Chapitre I :**  
**Biomimétisme : Définition, genèse,**  
**Méthodologie, enjeux**

## I-1 Introduction :

L'objectif principal de ce chapitre vise à présenter ce nouveau domaine scientifique. Nous allons alors, tenter de le définir et évoqué succinctement l'histoire de sa genèse, ses concepts ainsi que la démarche proposée afin de le mettre en application dans la vie courante. Plus loin, nous allons donner quelques exemples type, souvent évoqués dans la littérature, en rapport avec les différents niveaux du biomimétisme.

## I-2 Etymologie et définition

Étymologiquement, le terme biomimétisme provient de la réunion de deux mots grecs : *βίος* *bíos*, signifiant la vie, *εμίμησις* *mímêsis*, signifiant imité. Le dictionnaire *Larousse*, le définit comme une «*démarche d'innovation durable qui consiste à transférer et à adapter à l'espèce humaine les solutions déjà élaborées par la nature (faune, flore, etc.)* »

Le terme biomimétisme en français et biomimicry en anglais, semble apparaître pour la première fois dans la littérature scientifique en 1962. Mais c'est bien Janine M. Benyus qui popularisera le terme dans son livre de 1997, dont le titre est «*Biomimicry : Innovation Inspired by Nature* » [2] Celui-ci, propose trois définitions suivantes :

**1. La nature comme modèle :** Le Biomimétisme est une nouvelle science qui étudie les œuvres de la nature, afin d'en imiter les concepts, les schémas et les procédés et de les appliquer pour résoudre nos problèmes quotidiens, en concevant des innovations dans une perspective de durabilité.

**2. La nature comme mesure :** Cette discipline, propose d'utiliser les standards de l'écologie pour juger de la « justesse » de nos innovations.

**3. La nature comme Mentor :** Le Biomimétisme est une nouvelle manière de considérer et d'apprécier la nature. Il introduit une ère fondée non pas sur ce que nous pouvons extraire du monde naturel, mais sur ce que l'on peut apprendre de lui. L'humain a donc tout intérêt à puiser de la « sagesse » qu'offre la nature et ne plus la voir seulement comme un bien, mais plutôt comme un guide.

## I-3 Émergence du biomimétisme

Afin de trouver de nombreuses réponses à des problèmes simples voire complexes, qu'il s'agisse de chasser, pêcher ou encore de se chauffer, l'Homme, de manière plus ou moins

consciente, s'est inspiré de la nature (**Figure 1**), en imitant ou en innovant à partir de divers faits et gestes des êtres vivants présents dans son environnement.



**Figure 1** : Félins à dents de sabre [a1]



**Figure 2** : Outils préhistorique et silex taillés [a2]

**Le biomimétisme** est bien plus ancien en tant que pratique. Par conséquent, ce n'est donc pas une idée nouvelle, mais elle est récente en tant que sciences théorisées ou en voie de théorisation, dont la datation de son apparition, si tant est que cela soit pertinent, apparaît être difficile à formuler, même de façon grossière.

- ✚ Si ses premières traces remontent à la Renaissance par l'intermédiaire de *Léonard de Vinci* et ses études du vol des oiseaux pour la conception de ses ornithoptères et automations (**Figure 3**), les premières investigations des connaissances issues du vivant relatives au vol lui sont antérieures. En effet, *Abbas Ibn Firnas* (810-887), cristallisant la fascination que l'homme a pour le vol aérien, n'aura eu de cesse, tout au long de sa vie, que de tenter de décrypter le mécanisme mis en œuvre par les oiseaux. Près de mille ans plus tard, à la fin du XIXe siècle, *Otto Lilienthal* (1911) concevra ses planeurs suite à l'étude de la capacité de portance de l'extrados des ailes d'oiseau. Un siècle supplémentaire s'écoulera avant que *Clément Ader*, fasciné par les chauves-souris et plus particulièrement la *Roussette* et son ossature lui permettant d'effectuer de courts vols planés, réalise son avion III (**Figure 4**), aux caractéristiques aérodynamiques sans précédent [3].



**Figure 3:** Ornithoptères, esquisse par Léonard de Vinci [a3]



**Figure 4 :** Eole inspiré des roussettes des indes [a4]

Ce sont tous ces travaux, parmi tant d'autres, qui mèneront les frères *Wright* sur le chemin de la réussite en 1903, avec leur *Flyer* inspiré des vautours. Encore aujourd'hui nombre d'innovations de l'aéronautique (p. ex. les *winglets* des grands rapaces américains, microdrones inspirés des insectes, puisent leur inspiration de la nature.

- ✚ Les travaux de *Thompson* (1945), dans son ouvrage « *On GrowthForm* », sont considérés parmi les premiers qui traitent les organismes vivants comme modèles pour les solutions d'ingénierie. Il est donc clair que cette pratique, comme discipline, est née en grande partie avec le scientifique multidisciplinaire tel qu'*Otto Herbert Schmitt*. Celui-ci était un ingénieur et physicien, qui a délaissé l'approche spécialisée au profit d'une méthode interdisciplinaire, en jetant notamment des passerelles entre les communautés techniques et scientifiques. Il effectuait des recherches sur les interactions électriques (apport de la physique) au niveau des terminaisons nerveuses (apport de la biologie), ce qui aboutira, pour la première fois, au concept de « **biophysique** » et dix ans plus tard, à celle de la **biomimétique** [4].
- ✚ Un an après les découvertes de *Schmitt*, en 1958, le *Jack Steele*, présenta la **Bionique**, une interprétation dérivée de la biomimétique, en annonçant les objectifs scientifiques de cette nouvelle discipline, telle que la recherche dans la nature des méthodes de conceptions de systèmes artificiels performants [5]. Ces aspirations de recherche mèneront, bien plus tard, et non exhaustivement, à des avancées dans les champs relatifs à la robotique, les nanotechnologies et l'intelligence artificielle.

- ✚ À la création de la biomimétique et de la bionique en tant que concepts, se succède celle de la « **bio inspiration** », inventée et popularisée *George McClelland Whitesides*. Elle consiste en l'utilisation de la compréhension des fonctions en biologie pour stimuler la recherche des sciences et techniques non biologiques. Pour le chimiste, la bio inspiration revêt deux caractéristiques majeures c à d :
- **sa simplicité** : En premier lieu, l'auteur y voit une possibilité pour tendre vers des procédés technologiques et chimiques plus simplifiés. En effet, là où les sciences techniques procèdent par des méthodologies très complexes et riches en ressources, le génie du vivant use de moins de subterfuges et d'énergie pour des résultats similaires.
  - **son accessibilité** : selon l'auteur pour s'inspirer du vivant, il n'y a pas forcément besoin de connaître tous les ressorts du fonctionnement d'un organisme, mais seulement des principes directeurs qui nous seront utiles. Il s'agit en somme d'une procédure de simplification de la biologie, dans l'optique d'une application non biologique.
- ✚ Avec la parution du livre de la biologiste américaine *Janine Benyus*, intitulé « *Biomimétisme, quand la nature inspire des innovations durables* » en 1997 [2], la notion de biomimétisme prit un second souffle. Cet ouvrage présente une synthèse des applications inspirées du fonctionnement du Vivant, dans des domaines multiples tels l'agriculture, des matériaux, de l'informatique, de l'industrie, etc
- Face aux concepts de biomimétique, bionique et bio-inspiration, le biomimétisme se distingue par l'accent mis sur la recherche de durabilité.

#### I-4 Précisions lexicales

Face au flou sémantique des termes servant à décrire le domaine relatif à la bio-inspiration, les premiers travaux de normalisation visant à les clarifier, ont été effectués par le Comité technique ISO 266. Et il en ressort ce qui suit.

**I-4-1 Bio-inspiration « Bio-inspiration »**

«*Approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques* ». Dans cette définition, la bio-inspiration constitue un concept générique susceptible de regrouper nombre de sous-concepts et pratiques.

**I-4-2 Bionique « Bionics »**

«*Discipline technique qui cherche à reproduire, améliorer ou remplacer des fonctions biologiques par leurs équivalents électroniques et/ou mécaniques.* ».

**I-4-3 Biomimétisme « Biomimicry »**

«*Philosophie et approches conceptuelles interdisciplinaires prenant pour modèle la nature afin de relever les défis du développement durable (i.e. social, environnemental et économique).*»

Cette définition met l'emphase sur deux concepts distincts : l'aspect philosophique lié à l'usage du suffixe -Ime et l'intégration du développement durable comme motivation première de ce type d'approche.

**I-4-4 Biomimétique « Biomimetics »**

«*Coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovation dans le but de résoudre des problèmes pratiques par le biais de l'analyse fonctionnelle des systèmes biologiques, de leur abstraction en modèles, ainsi que le transfert et l'application de ces modèles à la solution.* ».

La définition proposée pour le terme biomimétique fait la part de son aspect méthodologique. La multiplicité des pratiques fait qu'il est parfois délicat de discerner ce qui relève de ce domaine ou non. À cela, s'ajoute le fait que certains pratiquent cette discipline sans le savoir, du moins sans le concevoir ainsi. Ce qui s'apparenterait en quelque sorte à du « biomimétisme fortuit ».

**I-4-5 Autres termes**

Aux définitions présentes ci-dessus, nous nous proposons d'ajouter celle de «*Nature-Based Solutions* » définies par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), comme « *les actions qui s'appuient sur les écosystèmes afin de relever les*

*défis globaux comme la lutte contre les changements climatiques ou d'autres (santé, approvisionnement et qualité de l'eau, sécurité alimentaire...) ».*

### **I-5 Pourquoi le biomimétisme maintenant ?**

L'Homme est arrivé à un tournant de son évolution. En effet, à cause de son mode de vie et de sa vision philosophique du monde, littéralement destructrice, y compris de sa propre espèce. Certes, la révolution industrielle a eu des aspects positifs, qui malheureusement a induit en nous l'assurance exagérée d'un « *mode de vie facile grâce à l'ère de la chimie* », en apprenant à synthétiser nos produits par la pétrochimie. Nous avons alors cru nous affranchir de la nature et la dépasser. De plus, avec l'avènement du génie génétique, certains s'imaginaient déjà tout-puissants, à la tête d'un arsenal technologique infailible qui leur garantirait l'indépendance vis-à-vis de notre mère nourricière. Dans le contexte actuel, cette conception du monde a été battue à plat de couture, par la crise sanitaire liée au Covid-19, à laquelle le monde fait fasse, et ce depuis presque une année.

Il en a résulté un comportement irresponsable avec des impacts négatifs sur l'environnement, voir catastrophique, surtout de la façon dont l'énergie est consommée. En effet, plus que toute autre espèce et durant les 80 dernières années, l'Homme a consommé, plus qu'il n'en a fait pendant 4000 ans d'histoire. Au même temps, du fait de des bouleversements engendrés, quelques organismes vivants, ont su s'adapter aux conditions environnementales afin de surmonter les défis, mais d'autres ont malheureusement disparus. Ces signaux d'alarme nous forcent à rechercher des modes de vie plus sains et soutenables pour la planète. Ceci a induit un regain d'intérêt au biomimétisme, qui est en plein essor (**Figure 5**). Il prend ainsi de l'ampleur et ouvre de nouvelles perspectives pour la recherche, dans tous les domaines. Par exemple, le centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis (CEEBIOS) a été créé en 2014, dans le but d'accompagner les projets innovants inspirés du vivant mais aussi initier les étudiants.

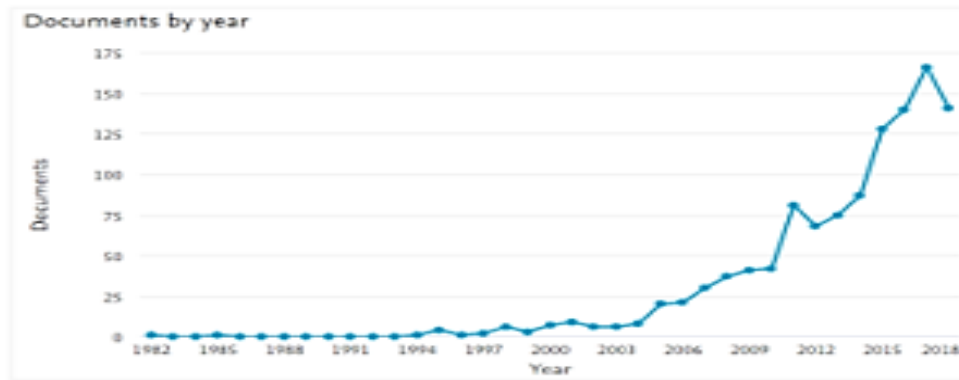


Figure 1 Nombre de publications contenant le terme "biomimicry" depuis 1982.  
Source : Base de données Scopus

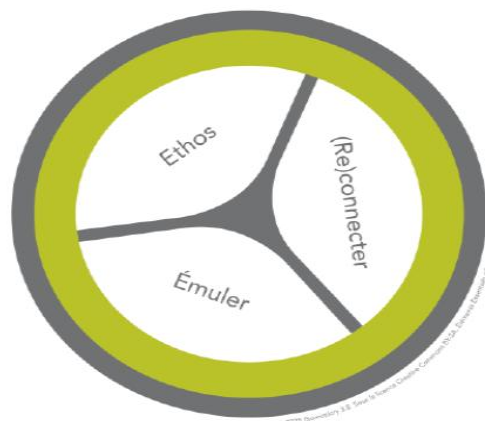
**Figure5** :Nombre de publications contenant le terme « biomimicry » entre 1982 et 2016

[a5]

Cet engouement n'a été possible que grâce au développement technique qu'a connu le monde, permettant l'étude d'objets à l'échelle microscopique, voir macroscopique. Il est, par exemple, possible de mesurer l'excitation d'un neurone en activité, ou encore assister à la naissance d'une étoile. En combinant toutes les connaissances, nous avons subitement réalisé tout ce que nous pouvons apprendre de la nature et donc d'être en mesure de l'imiter, comme jamais auparavant.

## I-6 Méthodologie du biomimétisme

Il s'agit donc d'une démarche en trois temps, des fois effectuée de manière innée, qui consiste à *observer*, *comprendre* et *appliquer*. Comme suite à l'observation d'un aspect de la nature, il suffit de découvrir un comportement, un geste, une forme, un fonctionnement, ou d'autres faits intéressants, de rechercher l'explication de cette intrigue, puis d'essayer de le reproduire en utilisant les technologies que l'être humain maîtrise. En combinant ces étapes, le concept bioinspiré devient biomimétisme (**Figure 6**). Par conséquent, ces trois ingrédients essentiels et interconnectés, représentent la fondation même du biomimétisme.



**Figure 6** : Les fondements du biomimétisme [2].

### I-6-1 Fondements du biomimétisme

La démarche adopte une triple intention : éthos, (re) connecter et émuler.

#### I-6-1-1 Ethos

Constitue l'essence philosophie sous-jacente derrière la pratique du biomimétisme, éthique, respectueuse et responsable face à chaque forme de vie.

#### I-6-1-2 Re - connecter

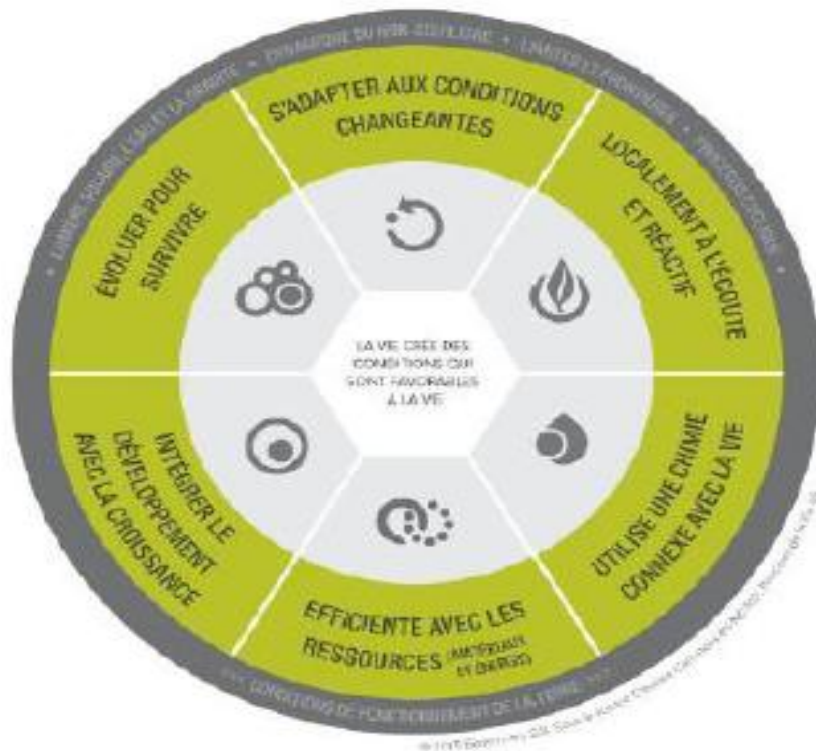
Une pratique et une mentalité qui explore et approfondit la relation entre être vivants, pour modifier les regards et perceptions sur le règne du vivant, permettant de prendre la mesure de l'importance de s'insérer dans un système global.

#### I-6-1-3 Émuler

L'élément émuler est la recherche proactive des principes, des modèles, des stratégies et des fonctions issues de l'observation des phénomènes naturels, qui pourraient contribuer à un changement qualitatif de nos modes de production et de consommation, ainsi que de nos relations.

### I-6-2 Principes du vivant

Les principes du vivant sont des règles de fonctionnement que l'on retrouve dans tous les écosystèmes biologiques sur Terre et qui sont apparus sous la pression de l'évolution et de l'adaptation, et ce depuis des milliards d'années et que les biomiméticiens appellent « *les conditions du système qui a accueilli la vie* » (**Figure 7**).



**Figure 7** : Les principes de la vie [2]

Ce sont trois conditions auxquelles la vie a dû s'adapter :

#### **I-6-2-1 Le système Terre est fini et borné**

Un modèle économique basé sur une croissance matérielle infinie avec des ressources finies n'est donc pas viable. Il faut opérer une transition de paradigme et adopté une autre philosophie de la vie, notamment en favorisant une nouvelle économie qui va réduire la diversité de matériaux utilisés et permet la mise en place d'un recyclage total et qui privilégiera la dématérialisation.

#### **I-6-2-2 Environnement en équilibre dynamique**

Nous savons depuis le début du siècle dernier que l'univers est en expansion et qu'il n'est pas stable. Dans notre système solaire, l'astre central conditionne la vie sur terre, lui-même évolue et son rayonnement fluctue au cours du temps. D'une part, le vivant s'est développé dans des conditions changeantes et d'autre part, lui-même agissant sur son environnement, en modifiant le milieu dans lequel il prospère. C'est ce qui a permis au vivant de développer des capacités d'adaptation et d'évoluer au cours du temps. Par conséquent, la vie c'est construite dans les changements et ils sont donc intrinsèquement liés entre eux. En effet, en paraphrasant

Albert Einstein « La vie, c'est comme une bicyclette, il faut avancer pour ne pas perdre l'équilibre ».

### I-6-2-3 La planète est basée sur l'eau

La vie est apparue dans les océans, que les mécanismes du vivant utilisent pour se construire et pour évoluer, elle doit donc être préservée saine, sous peine de disparition (Figure 8).

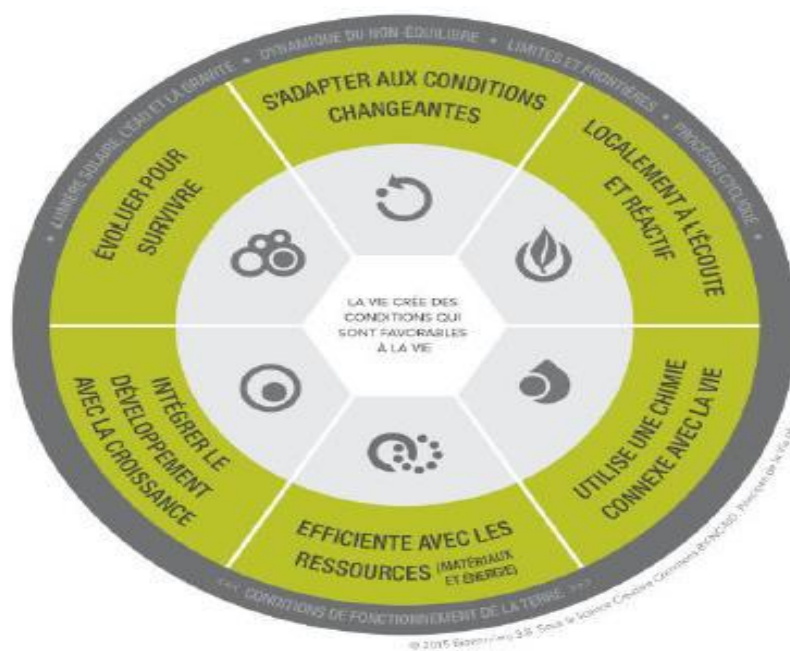


Figure 8: Les principes de la vie [2]

### I-6-3 Processus du biomimétisme

Le biomimétisme, comme méthode de recherche, est scientifiquement divisé en deux groupes; la biologie influence la conception (biology influencing design) et les conceptions qui cherchent dans la biologie (design looking to biology) [6].

#### I-6-3-1 Biologie influençant la conception

Il traite de la découverte de nouveaux comportements, fonctions ou caractéristiques biologiques afin de créer de conceptions récentes. Cette approche exige une analyse scientifique sophistiquée des systèmes biologiques et demande un suivi qui dure dans le

temps, nécessitant une équipe de chercheurs pour découvrir une (des) idée(s) pouvant être exploitée(s) et améliorée(s) en une (plusieurs) conception(s).

### **I-6-3-2 Conceptions cherchant dans la biologie**

La deuxième approche traite de la création de nouvelles conceptions en regardant les organismes et les écosystèmes naturels, en vue d'étudier comment ils ont surmonté les problèmes similaires auxquels ils ont été confrontés. Cette approche n'a pas besoin de la même profondeur d'analyse scientifique que celle demandée par le premier groupe. Elle est plus pratique parce que les concepteurs cherchent dans la nature afin de découvrir des solutions d'un seul problème en transformant ces solutions en nouveaux concepts.

## **I-7 Enjeux du biomimétisme**

### **I-7-1 Enjeux éthiques**

Le biomimétisme peut être source de progrès, mais il pourrait être aussi utilisé à contre-courant. De nouvelles armes militaires ou économiques, ou de nouveaux gaspillages de ressources peuvent en découler. Comme le souligne le rapport du CGDD (2012), une « invention de la nature » isolée de son contexte peut perdre son intérêt écosystémique, voire être contreproductive, surtout si elle n'est pas inscrite dans un processus « circulaire » où la matière n'est pas intégralement recyclée.

### **I-7-2 Enjeux socioéconomiques**

A horizon de 2025, le chiffre d'affaire relatif au biomimétisme avoisinera les 1000 milliards de dollars, selon un rapport américain.

### **I-7-3 Enjeux environnementaux**

Face à la crise tant économique qu'écologique liée à la surexploitation des ressources naturelles, de nombreux chercheurs, architectes, industriels, prospectivistes et certains gouvernements estiment que le biomimétisme pourrait aussi être un vecteur de mutation.

### **I-7-4 Enjeux d'innovations**

L'application de ce mode de pensée ouvre de nouveaux champs d'investigations et offre une inspiration illimitée, qui plus est, s'intègre aux conditions de cette planète.

## I-8 Réglementation internationale sur le biomimétisme

L'International Organization for Standardization (ISO) (en français « Organisation Internationale de Normalisation) a établi et publié 3 normes internationales, en 2016, concernant directement le biomimétisme. Les normes ISO 18547, 18458 et 18569 [7]

## I-9 Outils pour le biomimétisme

Le développement de nouveaux concepts nécessite un processus comprenant plusieurs étapes. Cependant, pour surmonter les défis et faciliter le parcours des différentes étapes, des outils ont été développés dans divers domaines, comme l'ingénierie, l'informatique et la conception industrielle. Dans l'article « *Biomimetics and its tools* », les chercheurs présentent un panorama exhaustif de quarante-trois outils identifiés qui facilitent le processus de conception biomimétique. Actuellement, les principaux outils ou bases de données les plus utilisés sont présentés ci-dessous.

- ✚ La base de données **AskNature** est disponible en ligne pour les architectes ou autres concepteurs recherchant des informations relatives aux organismes vivants et à leurs capacités à répondre à un besoin déterminé. Ce portail de recherche public a été créé et mis à disposition par le Biomimicry Institute américain [8]. Une fois le mot-clé (la technique recherchée) entré dans le moteur de recherche, trois fiches s'offrent à nous. La première, descriptive, résume la stratégie adoptée par l'organisme concerné pour répondre au besoin. Ensuite, une galerie d'images nous est fournie pour finalement terminer par des commentaires d'internautes (*AskNature.org*).
- ✚ **Le Natural language analysis** est une méthode développée par une équipe de recherche de Toronto visant à trouver des solutions biologiques afin de résoudre des problèmes dans le domaine de l'ingénierie. Afin d'éviter tout raccourci en créant une base de données biologique uniquement pour des ingénieurs, l'approche prône une recherche en mots-clés décrivant la problématique. Ainsi, les résultats proposeraient des solutions provenant de l'étude du vivant. Il s'agit donc d'une méthode permettant de lier les domaines de la biologie et de l'ingénierie en donnant un ordre d'importance à des mots-clés générés par le programme.
- ✚ **Le Chabrakarti system** cherche à aider le concepteur en lui fournissant des analogies biologiques ou artificielles. Pour ce faire, la méthode repose sur deux bases de données

fonctionnant en parallèle. La première décrit la façon dont se meuvent certains vivants (à l'image de poissons et de leurs nageoires, d'insectes volants...) et la deuxième décrit les mécanismes artificiels de systèmes tels que la transmission par engrenages, les aspirateurs... Un langage commun aux deux bases de données a été créé par les chercheurs afin de proposer un large éventail de solutions analogiques et alternatives pertinentes à la résolution d'un problème de conception. Les résultats ne montrent cependant pas si la plupart des solutions proviennent principalement des données tirées de l'étude du vivant ou des mécanismes artificiels, le langage commun ne les dissociant pas.

- ✚ **BioTriz** est une adaptation de la méthode *TRIZ* au biomimétisme. Elle est basée sur 39 paramètres de conception et 40 principes reconnus comme communs aux principales innovations. Les concepteurs utilisant *TRIZ* définissent un problème de conception comme une contradiction entre différentes exigences. L'algorithme complexe derrière la méthode optimisera un paramètre parmi les 39 initiaux. La matrice de contradiction de *TRIZ* permettra au concepteur de retenir que certains principes innovants des 40 initialement définis permettent, in fine, de résoudre le problème déjà rencontré dans des conceptions antérieures.

C'est dans cet esprit que la méthode *BioTriz*, développée à l'université de Bath, voit le jour. Elle est basée sur une analyse de 500 phénomènes biologiques et 270 fonctions offertes par la nature permettant d'implanter des concepts biomimétiques pour la conception de produits. Elle se base non plus sur 40 principes, mais sur 6 (substance, structure, espace, temps, énergie et information) ce qui en facilite grandement son utilisation.

- ✚ **Le modèle SAPPHERE** a également été établi par *Chakrabarti* et a été mis en place dans le but de faciliter la compréhension de systèmes biologiques complexes. Dans ce cas-ci, le modèle prend comme base 20 paires biomimétiques (le modèle naturel copié et le système technique dont l'analogie provient de ce même modèle nature et permet d'en faire ressortir un niveau de biomimétisme. En effet, le modèle compare les paires biomimétiques entre elles et montre le nombre de similarités existantes au sein des paires étudiées.

✚ D'autres méthodes existent encore, mais ne seront pas développées ici. Parmi celles-ci, citons: IDEA Inspire permettant de trouver des références biologiques, le Functionnal Modeling, présentant des systèmes biologiques et leurs modes de fonctionnement intéressants à mettre en œuvre ingénierie. De plus, on peut citer la méthode C-K que certains concepteurs biomimétiques utilisent. Cette dernière permet de mettre en relation des concepts (C) et des connaissances (K) dans l'optique de générer des solutions de conceptions innovantes.

## I-10 Problèmes résolus par le biomimétisme

Nous allons mettre, ci-dessous, en opposition le fonctionnement adopté par la nature, et celui que l'Homme a mis en place, surtout depuis la révolution industrielle.

### a) La nature

Selon *Laurent BILLON*, chercheur à l'*IPREM*, « *Le vivant est capable de développer des molécules, des structures et des architectures complexes menant à des fonctionnalités ou matériaux fonctionnels. Pour cela, il utilise des processus catalysés et des assemblages ascendants peu énergivores en termes de température/pression ambiante, et n'utilisant que des éléments (C, H, N, O et quelques métaux) ou synthons (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>...) tous abondants à la surface de la Terre ou dans les océans. Etre capable de traduire et de s'appropriier ces processus et ces structures hiérarchiques, tel est l'objectif de l'approche bio-inspirée pour l'élaboration des matériaux du futur... avec la vision, si possible de n'utiliser que notre environnement proche comme ressources et ainsi limiter notre impact* ».

Par les mécanismes de l'évolution et le jeu de la sélection naturelle, les structures et fonctions des matériaux biologiques se sont diversifiées pour maintenir la vie dans des environnements variés, en adoptant une vaste gamme de stratégies de production inclusive de matériaux compatibles avec les contraintes environnementales : en termes d'utilisation des ressources - énergie et matière - et de recyclage. A titre d'exemples :

- Tous les éléments chimique mis en œuvre sont recyclés après « usage », voir réutilisés par d'autres organismes dans un cycle fermé, donc sans déperdition.
- La seule source extérieure apportée au système naturel est l'énergie solaire.
- Si des molécules toxiques sont synthétisées par des organismes biologiques, elles sont biodégradables contrairement aux nôtres qui sont rémanentes. Il n'y a aucune

dégradation des conditions naturelles par les organismes et le vivant crée les conditions propices à la vie. [6]

## **b) Paradigme adopté par l'Homme**

Les modes de production de produits à travers toute l'industrie sont pour la plupart très loin de suivre le modèle que nous offre le monde du vivant qui pourtant a démontré sa viabilité, son efficacité et sa pérennité depuis les milliards d'années de son existence.

En effet, la production des matériaux issus de la technosphère suit les étapes : *Heat, beat and treat*, correspondant aux traitements thermiques, mécaniques et chimiques surtout lourdes, respectivement.

La quasi-totalité des procédés industriels sont énergivores, en temps et en matière première, surtout celles qui sont éphémères. De plus, il est à noter que la fabrication de l'ensemble de nos produits nécessite 92 éléments, soit la quasi-totalité des composés atomiques existant sur terre et répertoriés dans le tableau périodique. De plus, le recyclage est souvent limité à des procédés de « downcycling » (dévalorisation).

Ci-dessous, l'exemple de fabrication du verre, illustrant un stéréotype de procédés de fabrication de produits industriels, tels qu'ils sont majoritairement pratiqués aujourd'hui.

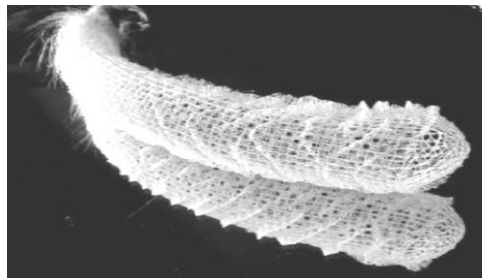
### **I-10-1 Exemple de fabrication du verre**

#### **I-10-1-1 Fabrication industrielle**

La matière première, qui a été excavée et transportée de chaque recoin du monde, est coupée, ciselée, rabotée. Par la suite, pour modifier les propriétés physiques de cette matière, celle-ci subit un traitement à haute température (plus de 1000 °C pour le verre) et à haute pression, procédé très énergivore. Le résultat est ensuite traité avec des produits chimiques souvent toxiques et difficilement recyclables. Chaque pièce fabriquée est assemblée pour former le produit final, dont les déchets recyclés ne représentent que 4 %. Il est ensuite transporté dans les différents pays de commercialisation. Sa durée de vie est, la plupart du temps, très longue et presque toujours largement plus longue que sa durée d'utilisation. En fin de vie, ce produit, est stocké sous forme de déchets par les entreprises ou par les collectivités territoriales ou abandonnés dans des décharges. Seule une faible portion est recyclée.

### I-10-1-2 Comment la nature fait-elle ?

La nature procède très différemment. Les organismes vivants « se construisent » par auto assemblage à partir de quatre éléments de base présents localement (environ 97 % de leur composition) à température et pression ambiante et en utilisant comme solvant l'eau. Par exemple, les éponges hexactinellide (**Figure 9**) sont capables de fabriquer du verre de très haute qualité dans de l'eau à 4 °C.



**Figure 9** : Squelette interne en verre de l'éponge hexactinellide [a6]

### I-11 Exemples notables de biomimétisme

Grace aux nombreux exemples, le concept du biomimétisme reste relativement facile à comprendre. Cependant, puisque le véritable défi réside dans la compréhension de la nature elle-même et son application demeure plus difficile à concrétiser. Par contre, cette difficulté n'est pas insurmontable, car il existe de nombreux projets qui ont été réalisés ou qui sont en cours de réalisation à l'heure actuelle. Vu la multitude d'avancées dans le domaine à travers le monde, il n'est pas possible de les présenter entièrement. Nous allons lors des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> chapitres, présenter des exemples permettant de fabriquer l'énergie et de la stocker, où encore permettant de l'économiser. Cependant, une sélection de projets a été effectuée et présentée lors de la partie suivante, en fonction de la représentativité des trois grands champs d'application du biomimétisme, à savoir : *formes et de surface ; matériaux et des procédés ; processus et écosystèmes.*

## I-12 Niveaux du biomimétismes

Il y a trois types de biomimétisme :

### I-12-1 Biomimétisme des formes et de surface

Le biomimétisme de forme consiste à améliorer les performances d'une technologie par un travail sur la forme.

- En imitant la forme du bec et de la tête du martin pêcheur, les concepteurs du célèbre TGV japonais « *Shinkansen* » roulant à 300 Km/h, ont réussi à augmenter sa vitesse de 10%, tout en diminuant sa consommation électrique de 15% et en réduisant sa nuisance sonore à chaque sortie de tunnel. (**Figure 10**)



**Figure 10** : Le train de Shinkansen inspiré du bec du martin pêcheur [a7]

- Les feuilles de lotus (**Figure11**) sont hyper hydrophobes (répulsion totale de l'eau), étanches à la poussière et sont autonettoyantes. *L'effet lotus*, ainsi mis en évidence a permis plusieurs innovations, telles que : vitres autonettoyantes, peintures anti-salissures (*Lotusan*®), revêtements antibactériens pour les hôpitaux et autre tissus, revêtements ne gardant ni liquide, ni saletés etc

○



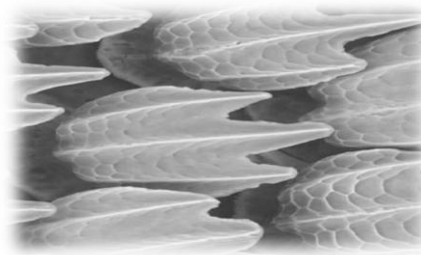
**Figure 11** : Effet Lotus avec des gouttes d'eau tombent sur la surface [a8]



**Figure 12** : Façade sans et avec le revêtement autonettoyant [a9]

- Gustave Eiffel a construit la Tour Eiffel, en s'inspirant de la structure intérieure d'un fémur, car de part sa forme et sa structure, il est à la fois très robuste et léger.
- La peau du requin contient des minuscules écailles (0.06 mm), striées, resserrées, anguleuses et recourbés vers l'arrière du requin (**Figure 13**). Ceci confère de l'hydrodynamisme à cette structure, permettant aux requins de se déplacer rapidement sous l'eau avec une vitesse avoisinant les 100 km/h.

Inspirer de cette découverte, l'entreprise *Speedo*<sup>®</sup> conçoit un type de maillot, porté par *Michael Phelps*, lors des Jeux olympiques 2008 de Pékin, lui permettant de récolter pas moins de huit médailles d'or, en les associant à 6 records du monde. Toujours avec ces maillots et durant la même année, par moins de 250 records mondiaux ont été battus, mais cette technologie est, depuis, interdite dans les compétitions officielles.



**Figure 13** Peau de requin vu au microscope  
[a10]

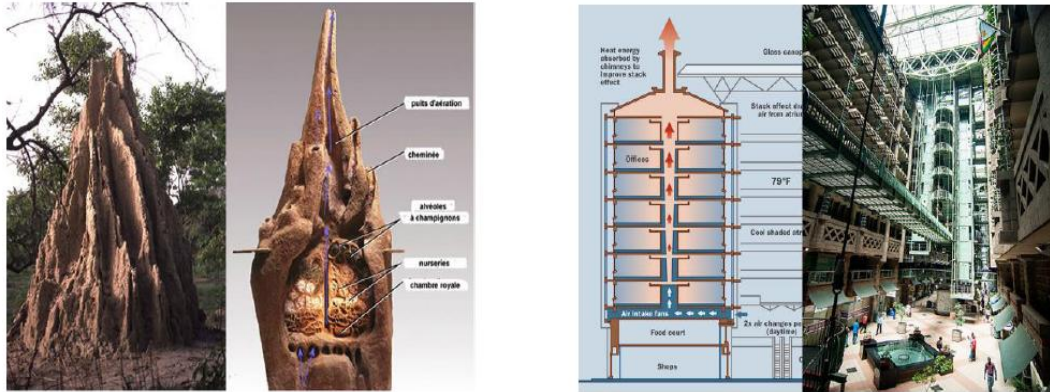
### I-12-2 Biomimétismes des matériaux et des procédés

Observer comment la nature fait pour réaliser une fonction afin de l'imiter.

➤ **a. imitation des procédés :**

- le centre *Eastgate* (**Figure 14**) à Harare au Zimbabwe, est sans doute l'un des bâtiments biomimétiques les plus emblématiques. Il a été inspiré de la structure et de la ventilation naturelle que l'on retrouve dans une termitière (**Figure 15**). La température africaine peut varier de 0°C à 40°C, ce qui a amené le termite à innover en matière de construction afin de maintenir une température constante à l'intérieur de son habitat. Cela a été rendu possible grâce à la construction de murs épais et donc isolant, mais aussi par l'édification d'un système de galeries, assurant ainsi une ventilation naturelle et efficace, allant du point le plus bas vers le point le plus haut de la structure.

L'architecte a donc décidé de reprendre certains de ces principes. En mettant ainsi en place une ventilation passive.



**Figure 15:** Système de ventilation naturelle d'une termitière [a11]

**Figure 14 :** Fonctionnement de l'Eastgate Center, architecte Mike Pearce [a12]

### ➤ b. imitation des matériaux

Le Velcro est un matériau tissé formé de 2 bandes recouvertes chacune d'une texture particulière (**Figure 16**). Ces 2 bandes se lient de façon réversible lors de leur mise en contact. L'idée de cette bande auto-agrippant est venue des fleurs de bardane, qui s'enlèvent difficilement une fois accrochées sur les vêtements.



**Figure 16 :** la bardane et le velcro (scartch) [a13]

**I-12-3 Biomimétisme des systèmes (l'écosystème)**

Consiste à reproduire les stratégies d'organisations et de fonctionnement des systèmes vivants à l'échelle microscopique, macroscopique ou encore d'un écosystème.

Le groupe *Suez*<sup>®</sup>, l'un des principaux gestionnaires de l'eau en France, a créé la première Zone de Rejet Végétalisée (ZRV). Cet espace de plusieurs hectares est installé à la sortie d'une station d'épuration. Les eaux entreprennent alors un parcours qui dure dix à vingt-cinq jours, durant lesquels elles se débarrassent d'une partie de ses micropolluants. En effet, ceux-ci étant captés par les sols, absorbés par les plantes (propriétés d'absorber les métaux lourds). Par exemple, la menthe aquatique qui assimile le zinc. On obtient ainsi une qualité d'eau proche de celle des eaux de baignade. C'est ce même rôle que jouent les zones humides, marais, tourbière, disséminées dans la nature.

### I-13 Conclusion

La Nature a toujours constituée une base de réflexion en matière de conception et d'innovation. Si s'inspirer de la Nature pour éco-concevoir des projets n'est pas une nouveauté, le biomimétisme est l'un de ces nouveaux courants qui connaît un fort engouement depuis quelques années, notamment grâce au progrès technique, mais pas que. En effet au-delà, le biomimétisme est susceptible de reprendre, au moins en partie, aux grands enjeux de société dite moderne, notamment par rapport aux problématiques environnementales et du développement durable, s'inscrivant dans un vaste mouvement de transition, désormais inévitable, visant à changer notre vision des choses, mode de vie, de penser et d'organisation, en somme l'adoption d'un nouveau paradigme. Dans lequel, il ne s'agit plus de considérer les ressources naturelles comme inépuisables, mais plutôt comme une source d'enseignements, en termes de gestion durable des ressources naturelles, optimisation énergétique... Apprendre de la Nature pour innover, réinventer nos systèmes de production et nos modes de vie (habiter, travailler, consommer...), sont autant de thèmes sur lesquels les chercheurs doivent se pencher, dans un future certainement proche.

Inévitablement, l'approche biomimétique proposera ses propres principes pour l'éco-innovation, mais elle devra également s'adapter aux besoins des utilisateurs pour survivre parmi les nombreuses méthodes de conception innovante déjà implantées. La démarche biomimétique demeurera multidisciplinaire et impliquera l'ouverture d'esprit et le dialogue entre ingénieurs et biologistes. Les problèmes auxquels l'humanité fait face aujourd'hui sont complexes, mais surtout beaucoup plus multidimensionnels qu'ils ne l'étaient dans le passé. L'approche biomimétique offre dès lors une perspective intéressante pour nous inspirer dans nos recherches de solutions.

# **Chapitre II :**

## **Production et stockage d'énergie**

## II-1 Introduction

Afin de répondre aux besoins énergétiques de l'humanité, le biomimétisme représente une opportunité inédite d'innovation responsable qui a beaucoup à offrir au secteur de l'énergie. En fait, la nature délivre de nombreuses ressources qui sont à la fois écologiques et infinies telles que le soleil, le vent, et l'eau en mouvement, ayant déjà permis l'émergence de nouvelles technologies telles que les cellules photovoltaïques, éoliennes et hydrauliques. Néanmoins, les recherches sont en cours afin de développer d'autres sources, à la fois plus écologique et présentent un relatif faible coût économique, dont nous allons nous intéresser au cours de ce chapitre, en citant quelques exemples.

## II-2 Energie Hydraulique

L'énergie hydraulique est fournie grâce au mouvement de l'eau, que ce soit sous forme de chutes, de vague, de courants de marées. Beaucoup de systèmes hydrauliques ont été inspirés de la nature comme :

### II-2-1 Biostream et Biowave

En s'inspirant de la forme hydrodynamique d'une queue de thon, la société australienne *biopowerSystems* a proposé un dispositif marémoteur appelée *biostream* se plaçant à de grandes profondeurs et exploite les courants marins, afin de générer une énergie électrique. Un autre dispositif appelé *Biowave* a également été proposé, lequel reprend le mouvement d'une algue géante appelée la kelp. [10].

### II-2-2 Hydrolienne ondulante

Grâce aux déplacements ondulatoires des anguilles, la *start-up* « *EEL Energy* » a mis au point la conception d'une nouvelle génération d'hydrolienne, réalisée en fibre de verre, d'époxy et de caoutchouc. Toute en harmonie avec la faune aquatique, elle génère de l'électricité de façon continue 24h/24, en ne provoquant ni des nuisances sonores, ni de déchets.

## II-3 Energie éolienne

Elle consiste à exploiter l'énergie cinétique du vent pour produire de l'électricité. Les éoliennes nouvelles générations répondent aux inconvénients des éoliennes dites

traditionnelles, à savoir leur grande visibilité dans le paysage, ainsi que le bruit qu'elles génèrent.

### II-3-1 Arbre à Vent

En observant, l'agitation des feuilles d'un arbre même en absence du vent, la start-up « *New Wind* » a eu l'idée de concevoir un arbre équipé de mini éoliennes appelées *Aeroleaf*, en forme de feuille produisant de l'électricité. (**Figure 17**). Il peut exploiter tous les types de vent (laminaires et turbulents) en milieu urbain aussi bien qu'en milieu rural.



**Figure 17:** Arbre à vent [b1]

### II-3-2 Eoliennes s'inspirant des oiseaux

Le vol des oiseaux, avec sa simplicité, son élégance et son efficacité, a suscité beaucoup d'intérêt dans les projets scientifiques et d'ingénierie.

✚ En 2014, *Festo* une entreprise allemande, a construit un générateur à deux ailes (*DWG Dual Wing Generator*), dont l'idée provient du mouvement des ailes en vol. Il présente un important rendement en énergie, pour de faibles vitesses de vent. (**Figure 18**)



**Figure 18 :** Système DualWingGenerator [b2]

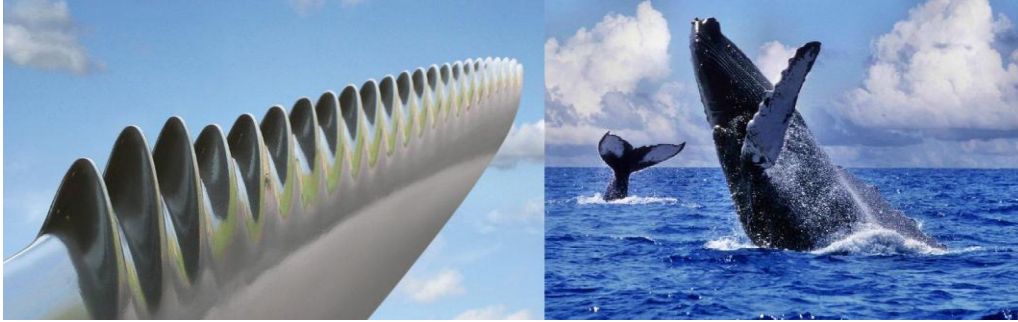
- ✚ Une start-up basée en Tunisie portant le nom « *Trywind* », a conçu un nouveau prototype de turbine éolienne (Figure 19), basé sur le battement d'ailes de colibris présentant la faculté de voler de manière stationnaire, dont les ailes forment un 8 à chaque battement. Cette nouvelle éolienne n'a donc pas d'hélices mais deux ailes. Elle est également compacte et son design aurait le meilleur rendement taille/énergie générée.



**Figure 19:** nouvelle éolienne inspiré du Colibri [b3]

### II-3-3 Eoliennes s'inspirant des baleines à bosse

Grâce à leurs nageoires pectorales recouvertes d'aspérités appelées tubercules, se trouvant sur le bord de celles-ci (Figure 20), les baleines à bosse font preuve d'une grande agilité et d'une grande rapidité, malgré leurs tailles et poids. En se basant sur cette observation, les ingénieurs de « *Whalepower* » ont perfectionné les pales des éoliennes, en mettant au point le prototype. Celui-ci présente des performances satisfaisantes. En effet, elle est plus stable, moins bruyante et fonctionne avec des vents plus faibles. Mieux encore la production d'électricité a été augmentée d'environ 20 %, par rapport à une éolienne conventionnelle.



**Figure 20 :** éolienne « nageoires de baleine » [b4]

#### **II-3-4 Eolienne libellule**

L'architecte Renzo Piano s'est inspiré des ailes de la libellule et de sa capacité à flotter à la moindre brise,[11] pour mettre au point une éolienne à deux pales, compacte, efficace, et surtout capable de fonctionner à des vents très faible. Contrairement aux éoliennes traditionnelles qui doivent être arrêtées en cas de vent très fort, l'éolienne libellule fonctionne même dans des conditions extrêmes (**Figure 21**).



**Figure 21:** Eolienne libellule [b5]

#### **II-4 Energie solaire**

La source d'énergie principale utilisée par le monde du vivant étant l'énergie solaire. Elle est à l'origine du cycle de l'eau, du vent, et de la photosynthèse.

##### **II-4-1 Photosynthèse artificielle**

La photosynthèse naturelle est un processus qui permet aux plantes et à d'autres organismes vivants dits photosynthétiques d'utiliser l'énergie du soleil pour convertir l'eau et le dioxyde de carbone en oxygène et hydrogène et en molécules carbonées. C'est par conséquent, un procédé de stockage d'énergie solaire, donc renouvelable et intermittent. Ce

processus naturel, constitue une source d'inspiration unique. Cependant, «*La photosynthèse artificielle*» représente un énorme défi, à cause de la complexité des réactions mises en œuvre, à la fois photochimiques, électrochimiques, et catalytiques, mais peut ouvrir des perspectives uniques en matière de stockage d'énergie. L'idée est de mettre au point un dispositif contenant des catalyseurs et des matériaux photosensibles, [12] permettant une combinaison des trois éléments précédemment cités, dans le but de synthétiser efficacement des carburants comme le propane, qui seront utilisés comme source d'énergie.

Il existe plusieurs types de photosynthèses artificielles, à l'état de recherche ou de prototype. Néanmoins on peut citer le projet de la feuille artificielle, lequel a connu deux évolutions notables décrites ci-dessous :

✚1<sup>ère</sup> **étape** : en 2011, son concepteur a tenté de reproduire la photosynthèse dite «photolyse de l'eau» dans le but de produire du dihydrogène qui est un vecteur énergétique bien connu simplement à partir de l'eau et de la lumière.

✚2<sup>ème</sup> **étape** : en 2016, il revient avec une nouvelle version de la feuille artificielle n°2, contenant une bactérie spécifique, permettant une photosynthèse dix fois plus efficace que le processus naturel. De plus, elle permet également la fabrication de l'isopropanol.

Cette feuille artificielle est suffisamment aboutie pour envisager des applications commerciales.

#### II-4-2 Panneau solaire en forme de fleur

Le tournesol à la faculté de s'orienter vers le soleil pour capter le maximum de rayon lumineux, les ingénieurs autrichiens se sont alors inspirés pour mettre au point un nouveau panneau solaire appelé «*smartflower*», ou fleur intelligente (**Figure 22**). Celui-ci est un système totalement autonome, constitué de cellules photovoltaïques fixées sur les 12 pales en forme de pétales.[10] De plus, elles se nettoient automatiquement grâce au système «*smartcleaning*». Ce procédé permet d'augmenter la production d'énergie de 40% par rapport à des panneaux solaires classiques.



**Figure 22** :Lasmartflower (fleur intelligente) [b6]

#### **II-4-3 Arbre solaire «eTree»**

L'arbre solaire photovoltaïque appelé «*etree*» a été inspiré de l'acacia du désert (**Figure 23**). Celle-ci étant un mix de la *smartflower* est de l'arbre à vent, précédemment évoqués. Grâce aux capteurs photovoltaïques, il produit en toute autonomie une énergie d'environ 7kW/j laquelle est nécessaire pour proposer divers services, tels qu'une eau fraîche, énergie, connectivité, lumière, ombre et convivialité. Le premier prototype a vu le jour en 2014 en Israël. Il a été présenté en France, à Paris, fin 2015 lors de la COP21. Porté par la société *Solar Tree Europ* (filiale de Sologic). [10]



**Figure 23** : Arbre solaire photovoltaïque (eTree) [b7]

## II-5 Conclusion

Quelques exemples de biomimétisme relatifs à l'environnement ont été rapportés dans le présent chapitre. Ceux sont des projets avec des stades de réalisation différents, dont quelques-uns peuvent probablement faire l'objet d'une innovation, dans un proche avenir. Les exemples rapportés ici, ne sont qu'un tout petit échantillon parmi ceux publiés dans la littérature, et surtout par rapport à ceux qui ne le sont pas, à cause de la confidentialité qui les entourent. Une fois abouti, tous ces projets vont certainement offrir un avantage économique indéniable, par rapport à leurs concurrents économiques, qu'ils soient directs ou indirects. Mieux encore, ces énergies peu polluantes, permettront à l'Homme d'entamer un véritable changement de son mode de vie, et se réconcilier enfin avec lui et son environnement.

**Chapitre III :**  
**Divers domaines d'applications du**  
**biomimetisme**

### III-1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons aborder les cas de biomimétisme en rapport indirect avec l'écologie, dont l'être humain s'en est inspiré, du moins partiellement, ce qui nous place dans le contexte du but de ce mémoire. Plus concrètement, nous exposerons des exemples permettant de réaliser des économies d'énergie, à la fois en amont et en aval.

### III-2 Domaines d'applications du biomimétisme

#### Partie A:Environnement et économie d'énergie

##### III-2-A-1 Constructions auto-ventilées

Grace à la ventilation passive du centre commercial *Eastgate* à Harare au Zimbabwe inspiré des termitières, précédemment cité (Chapitre I), l'économie d'énergies a atteint 35%, comparé à un système constructif traditionnel, soit une économie de budget estimée à 3,5 millions d'euros par an.

##### III-2-A-2Pouvoir lumineux des lucioles

*Lucioles* en berbère «*Zarelou*», ces insectes produisent de la lumière via une réaction chimique, l'énergie produite par cette dernière est transformée directement en lumière sans avoir à passer par l'intermédiaire chaleur, au contraire de l'homme qui produit la lumière à partir de sources très énergétiques, (**Figure 24**). [13] Parti de cette idée des chercheurs se sont inspirés pour mettre au point des lumières plus performantes. Ce qui permet de faire des économies d'énergies importantes comparé à l'éclairage à l'aide d'ampoules incandescentes



**Figure 24** : Des guirlandes LED inspirées de Lucioles [c1]

### III-2-A-3 Champignon champion de la dépollution

Grâce à une enzyme spécifique le champignon *mycélium*, digère les matières toxiques, tels qu'un large spectre de composés organiques et aussi sa capacité de capter les métaux lourds. *Wallonne*, une entreprise de dépollution des sols s'en est inspirée et elle a mis au point une méthode qui s'appelle la *mycoremédiation* [14] dans le traitement des sols pollués, qui s'avère être très efficace. (Figure25)



Figure 25 : Mycélium de champignon et mycoremédiation [c2]

### III-2-A-4 Biopolymères marins contre le fouling

Afin de remplacer les produits nocifs pour l'environnement (chlore,...), utilisés pour lutter contre les salissures biologiques trouvées dans les boucles d'eau de processus industriel, le laboratoire «*Engie Crigen*», a mis au point et testé l'efficacité d'une solution à base de biopolymère 100% naturel issu de bactéries d'origine marine. (Figure 26)

Cette expérience remarquable est utilisé tout en préservant et respecter l'environnement. [15]



Figure 26: Installation industrielle contenant des  
[c3]

### III-2-A-5 Biomatériaux

L'entreprise *BioMason* s'est inspirés de la structure du corail,[16] pour fabriquer un ciment très résistant en insérant du sable dans un moule, en ajoutant des micros organismes spécifiques, une réaction chimique va se former, donnant naissance à ce nouveau matériau,(**Figure27**), celui-ci s'avère plus respectueux pour l'environnement.



**Figure 27:** Ciment mis au point par *BioMason*, inspirée du corail rouge [c4]

### III-2-A-6 Champignons algues (biodégradables)

Le polystyrène, polymère issu de l'industrie pétrochimique, est l'un des matériaux de synthèse les plus utilisés pour l'emballage de nos produits, mais également l'un des plus polluants, car son élimination dans la nature dure des centaines d'années.

Une entreprise new yorkaise *Ecovative* a mis au point un matériau, en cultivant le mycélium (la partie végétative souterraine du champignon) dans des déchets agricoles stérilisés, dont il se nourrit dans l'obscurité. Ils ont obtenus alors un matériau compact constitué d'un réseau très dense de fibres blanches enchevêtrées, et biodégradable. (**Figure 28**). D'ailleurs, le nouveau plastique est adopté par l'entreprise *Dell* pour emballer ses ordinateurs.



**Figure 28 :** inspiré du champignon pour remplacé le polystyrène [c5]

### III-2-A-7 Peau de requin dans l'aviation

La structure de la peau du requin diminue la traînée, ces performances aérodynamiques, cités précédemment intéressent des constructeurs comme *Airbus* qui ont élaboré un vernis à micro sillons imitant « l'effet peau de requin », Ce vernis est fixé aux avions par un rayonnement ultraviolet. Selon les instituts spécialisés, un avion recouvert de 40 à 70 % de son fuselage d'une couche de vernis, permettrait une économie de carburant de 1%, ce qui correspond à des millions de dollar par ans.

### III-2-A-8 Poisson coffre et la voiture (Benz-Mercedes)

Le poisson coffre vivant dans les coraux des eaux tropicales a inspiré les concepteurs de *Mercedes*, Ce poisson peut nager très vite (six fois la longueur de son corps chaque seconde), malgré sa structure angulaire, il possède des qualités aérodynamiques proches de la goutte d'eau, considérée par les ingénieurs comme la forme idéale (**Figure 29**), basé sur cela, une voiture prototype *Mercedes* a été mise au point, présentant une baisse de la consommation et des émissions d'oxyde d'azote (NOx) de 20 % et de 80 % respectivement, par rapport à une berline compacte équivalente. Les chercheurs ont également copié la structure osseuse pour le châssis et la carapace pour la carrosserie, cela lui confère une résistance accrue en cas d'accident et diminue d'un tiers la masse de la carrosserie. [17]



**Figure 29 : Voiture bionic [c6]**

## Partie B (autres cas du biomimétisme):

Le biomimétisme est une approche fondamentalement interdisciplinaire, qui est de plus en plus connue et regardé de près, en effet c'est une approche en pleine essor.

Aujourd'hui, avec l'avènement des nouvelles technologies et leur capacité à nous révéler le monde à l'échelle nanoscopique, Il a donné lieu à des avancées spectaculaires dans les domaines de l'aéronautique, l'architecture, la médecine, l'environnement, la chimie ou encore l'industrie textile etc

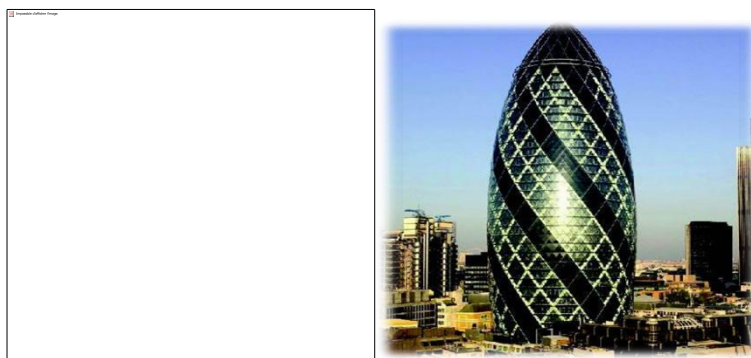
### III-2-B-1 Domaine architectural (nature et bâtiment)

Le biomimétisme tient une place de choix dans l'architecture, peut conduire à un mode de conception différent bâtiments durables conçus comme des organismes vivants, l'utilisation d'autre matériaux de construction et peut même transformer la forme des bâtiments.

#### III-2-B-1-1 L'éponge de mer

Dans les abysses de l'océan pacifique occidental, où il ya peu de lumière, des éponges de mer dite « *Fleur de vénus* » y vivent en profondeur. Elles sont constituées, entre autres, de fibres de verre et présentant une structure alvéolaire ingénieuse, dont le diamètre moyen des ports est idéale, permettre à l'algue de filtrer l'eau de mer et retenir ses nutriments.

Cette magnifique structure a inspiré *Foster&Partner* afin de créer la célèbre tour *Gherkin* à Londres (*La Swiss Tower*)[18] (**Figure 30**).



**Figure 30** : La tour Ghenkin inspirée d'une éponge de mer [c7]

Celle-ci a été construite autour du noyau central, permettant une diffusion optimale de l'air et de la lumière du jour. De cette façon les besoins de chauffage et de refroidissement sont

réduits et la lumière du soleil peut être utilisée pour éclairer une grande partie de cette tour, se faisant, cette structure permet une réduction de 40% de la consommation total d'énergie.

### III-2-B-1-2 Toitures inspirés des toiles d'araignées

Les toiles confectionnées par l'araignée pour capturer les proies possèdent des atouts de solidité et d'élasticité remarquable, les architectes s'inspirent de la forme de la toile d'araignée, mettent au point des constructions optimales. Nous pouvons citer les exemples, tels que le pavillon allemand de l'Exposition Universelle de 1967 à Montréal, le Stade de la Plata en Argentine (**Figure 31**), ou encore le centre commercial de *Fiera Milano* et aussi des bâtiments à membrane moderne (**Figure 32**). [19]



**Figure 32** : Bâtiment à membrane et Toitures modernes [c8]



**Figure 31**: Stade de la Plata en argentine [c9]

### III-2-B-2 Domaine de la médecine

#### III-2-B-2-1 Peau de requin, répulsif bactérien:

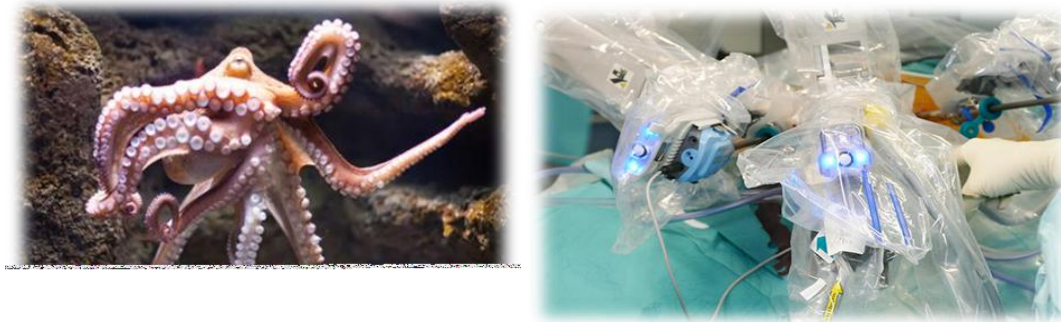
Le requin ne présente pas une seule bactérie sur la surface de son corps et ne souffre d'aucune infection d'organismes quelconques. Il doit cette particularité à la structure de sa peau dont on a déjà parlé précédemment.

Une société américaine *Sharkles* s'est inspirée de cette spécificité pour fabriquer un revêtement antibactérien destiné à être utilisé dans les hôpitaux. Cette technologie pourrait permettre de diminuer fortement, voire d'arrêter totalement, l'usage de produits antibactériens pour nettoyer les surfaces, Elle peut aussi contribuer à diminuer grandement les risques de contracter des maladies nosocomiales lors de séjours hospitaliers. [20]

### III-2-B-2-2 Poulpe (robot chirurgical)

Inspiré du bras d'une pieuvre tel est le prototype imaginé et présenté par des scientifiques, imaginons un robot avec un bras robotisé spécialement conçu pour la chirurgie mini-invasive tel est la procédure chirurgicale conçue pour minimiser le gêne des patients et le temps de rétablissement. [21]

Ce robot est capable de manipuler des organes mous sans les endommager et peut s'avérer très efficace et pourrait révolutionner le domaine chirurgical, un avantage certain par rapport aux instruments chirurgicaux traditionnels. (Figure 33)



**Figure 33** : Un robot chirurgical mimé d'une pieuvre [c10]

### III-2-B-2-3 Aiguilles médicales inspirées de la trompe du moustique

L'agaçante capacité du moustique à sucer le sang, sans se faire remarquer et à s'en sortir a incité les scientifiques japonais à créer une aiguille hypodermique tout aussi indolore, la clé pour réduire la douleur est la trompe dentelée du moustique, qui réduit la surface de la peau avec laquelle elle entre en contact. Ils ont réussi à produire des aiguilles de conception similaire à celle du harpon, qui ont été utilisées dans des petits appareils biomédicaux tel que les moniteurs de glycémie pour les patients diabétiques. (Figure 34). [22]

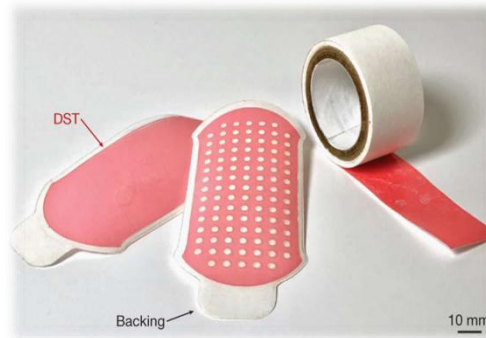


**Figure 34** : Des piqûres indolores grâce aux moustiques

[c11]

#### III-2-B-2-4 Pansement inspiré du fil d'araignée

Décidément, le fil d'araignée possède de nombreuses qualités. En effet, en plus de celles précédemment citées, elle a la propriété d'être collante, Ils se sont inspirés de ses qualités pour créer les pansements (**Figure 35**).



**Figure 35:** Pansement médical inspiré du fil d'araignée [c12]

#### III-B-2-5 Hibernation pour lutter contre l'atrophie musculaire

Comme d'autres animaux, l'ours brun hiberne dans sa tanière durant cinq à sept mois. Pendant cette période, il ne mange pas, ne boit pas, n'urine pas, ne défèque pas, il est dans un état inactif, Pourtant, lorsqu'il sort de son hibernation, il est étonnant de constater que l'ours semble être en pleine forme. Il perd en effet peu de masse musculaire durant son long sommeil, environ 20% durant le premier mois avant de se stabiliser pour les mois suivants, ce qui semble très surprenant car les myosites (les cellulaires musculaires), devraient être en partie détruites pendant cette période. En comparaison, l'homme a tendance à perdre sa masse musculaire de façon linéaire et continue en cas d'inactivité.

Les scientifiques français, notamment Fabrice Bertile de l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, ont remarqué que l'animal est capable de produire un sérum naturel pendant son état inactif pour lutter contre l'atrophie musculaire, Ces études sont en cours dans le but de trouver comment stopper l'atrophie musculaire humaine et stimuler la repousse des muscles atrophiés. Ces études sont d'un intérêt vital, car l'atrophie musculaire fait partie des quatre premières causes de décès chez l'Homme.

### III-2-B-2-6 Yeux de crevette pour voir des cellules infectées

La crevette-mante est un animal à la force herculéenne, que l'on retrouve dans l'Océan Indien et Pacifique. (Figure 36)



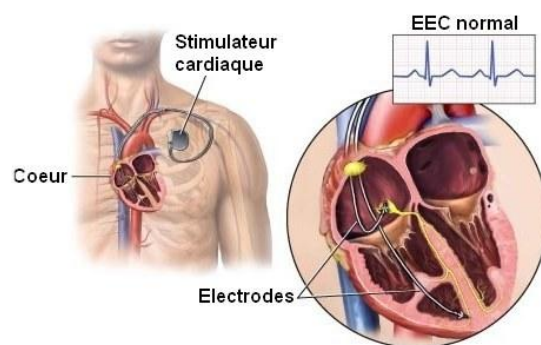
Figure 36: La crevette-mante [c13]

Elle est étudiée pour la confection de matériaux ultra-résistants, cette crevette-mante fait également l'objet de l'intérêt des chercheurs pour ses yeux étonnantes. [23] En effet, elles sont composées d'ommatidies, elles-mêmes constituées de cellules photoréceptrices possédant de fins prolongements cellulaires, des microvillosités, qui peuvent filtrer la lumière polarisée, c.-à-d. une lumière qui vibre dans une seule direction. Par conséquent, cette mante est capable d'observer des contrastes. De plus, contrairement aux cellules saines, les cellules cancéreuses réfléchissent la lumière polarisée, ceci permet à la mante d'être en mesure de les observer. Chose que notre système visuel est normalement incapable de faire.

Cette propriété a inspiré des chercheurs pour la fabrication d'une caméra détectant les tumeurs. Ici la caméra convertit des images invisibles pour nous en couleurs que nous pouvons percevoir. Ils ont ainsi imité les microvillosités contenues dans les yeux des crevettes grâce à des nanofils d'aluminium, qu'ils ont ensuite placés sur des photodiodes convertissant la lumière en courant électrique, leur permettant de filtrer la lumière polarisée.

### III-2-B-2-7 Pacemaker

C'est en étudiant le cœur des cétacés, que Jorge Reynolds, a découvert que la contraction du myocarde était commandée par des fibres minuscules émettant des signaux électriques, même au travers de la masse grasseuse, il pourrait s'en inspirer pour réaliser un stimulateur cardiaque quasiment invisible et fonctionnant sans piles. (Figure 37) [24]



**Figure 37:** le pacemaker biomimétique [c14]

### III-3 Conclusion

On peut retenir que les solutions répondant aux problèmes actuels existaient depuis longtemps dans la Nature. En effet, nombreux sont les exemples d'innovations dans divers domaines.

Dans le domaine de l'architecture, l'araignée et sa toile ont inspiré la construction du Stade de la *Plata*, en Argentine, aussi de l'éponge de mer et de sa forme en spirale pour construire des bâtiments plus solides, comme la célèbre *Tour Gherkin* à Londres.

Dans le domaine de l'environnement, en effet la recherche s'intéresse de nos jours à la conception de technologies non polluantes, de matériaux entièrement recyclables, des techniques moins énergivores qui doivent être toujours plus performantes.

Dans le domaine médicale, on peut citer la trompe du moustique pouvant piquer un être vivant sans provoquer de douleur ou encore la soie d'araignée, un matériau futuriste dans le domaine de la médecine.

Dans le domaine de l'aéronautique comme le démontrent les exemples, des avions et des voitures plus performants, plus rapides et plus économes en carburant.

Nous avons exposé seulement une infime partie d'exemples de biomimétisme.

En effet il y'a une multitude d'autres animaux qui peuvent servir de modèles pour l'homme.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

Un grand nombre de créateurs à travers le temps se sont inspirés de la nature. Aujourd'hui et plus que jamais, les concepteurs vont plus loin en essayant de copier ses fonctions et sa gestion environnementale.

Loin des courants formalistes, le biomimétisme s'inscrit dans une démarche de conception scientifique. Avec le biomimétisme, la biologie n'apparaît plus comme une pourvoyeuse de matières premières, mais comme une source d'idées. Son statut passe de source d'exploitation à chamane de la connaissance. Dans la philosophie biomimétique, tout ce que nous concevons doit en définitive s'accorder avec le règne biologique. Cette symbiose nécessite au préalable d'identifier les problématiques propres à chaque site, à chaque projet et à chaque finalité. Pour pouvoir esquisser les qualités morphologiques recherchées, trouver les matériaux et systèmes adéquats, ou mettre au point un processus adapté et performant. Malgré les faiblesses dues à la jeunesse de son existence, le biomimétisme offre un vaste champ de possibilités.

**Références**  
**Bibliographiques**

## Références

- [1] Bar-Cohen, Y., 2006, Biomimetics-using nature to inspire human innovation, *Bioinsp. Biomim*, 1 (1), pp. 1-12.
- [2] Benyus, J.M., 1997. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. William Morrow.USA.
- [3] Vincent J F.V, et al,2006 *Biomimetics : its practice and theory*, *Journal of The Royal Society Interface*,3, 471-482, 2006.
- [4] Fayemi P E, et al, 2013 *Contextualisation des outils biomimétiques afin de développer une nouvelle méthodologie*, CONFERE, Biarritz.
- [5] Guillot, A. and J.-A. Meyer, 2008. *La bionique: Quand la science imite la nature*, Dunod.
- [6] Pedersen Zari., 2006. *Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability*. SB07 conference Paper number: 033, New Zealand.
- [7] <https://www.iso.org/fr/home.html>
- [8] Gretchen Hooker et Ethan Smith, « AskNature and the Biomimicry Taxonomy », *Insight*, vol. 19, n° 1, avril 2016, William Miller.
- [9] <https://www.ecosources.info.com>
- [10] <https://www.biomimesis.fr>
- [11] <https://www.futura-sciences.com>
- [12] <https://www.consoglobe.com>
- [13] <https://fr.metrotime.be>
- [14] <https://www.researchgate.net/publication/Biofouling-et-Antifouling-Biologique>
- [15] <https://imbriktion.fr/blog/article/le-biomimetisme>
- [16] <https://biomimetis.me/2014/02/poisson-coffre/>
- [17] <https://biomimtismesite.wordpress.com>
- [18 ] O. Scheffer,2011 *L'architecture biomimétique. Quand l'architecture s'inspire de la nature*, Symbiopolis, <[www.bit.ly/architecture-biomimetique](http://www.bit.ly/architecture-biomimetique)>
- [19] <https://francetvinfo.fr>
- [20] <https://sante.lefigaro.fr>
- [21] <https://biomimetisme2017.wordpress.com>
- [22] <https://www.pasteur.fr>
- [23] <https://www.parismatch.com>

*Références des figures*

- [a1] (Source : [http : //monde de félins E-monsites](http://monde%20de%20félins%20E-monsites))
- [a2] (source: <https://www.hominides.com>)
- [a3] (Source : <http://www4.ac-nancy-metz.fr>)
- [a4] (source : <http://tpe-biomimetisme-chimie.e-monsite.com>)
- [a5] (Source :<http://alcimed.com>)
- [a6] (Source :<https://www.science-et-vie.com>)
- [a7] (Source :<https://tpebiomimetism/le-train-shinkansen>)
- [a8] (Source : <https://pixabay.com>)
- [a9] (Source : <http://facade-elephant.be>)
- [a10] (Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Requin>)
- [a11] (Source : <https://spftpe.wordpress.com>)
- [a12] (Source:<http://erakreativindustrie.fr>)
- [a13] (Source : [www.alsagarden.com](http://www.alsagarden.com)).
- [b1] (source: [http://Science et Avenir.fr](http://Science%20et%20Avenir.fr))
- [b2] (source : <http://festo.fr>)
- [b3] (source :<http://detours.canal.fr/ingenieur-tunisien-invente-eolienne-a-ailes-doiseau/>)
- [b4] (source :<http://hitek.fr>)
- [b5] (source :<http://energie.lexpansion.com>)
- [b6] (source :<http://smartflower.com>)
- [b7] (source :[http://le mondedelenergie.com](http://le%20mondedelenergie.com))
- [c1] (source :<http://Techscience.com>)
- [c2] (source :<http://tpe-biomimétisme-lascases.blogspot.com>)
- [c3] biopolymères marin contre le fouling(Source:<http://innovation.engie.com>)

[c4] (Source :<http://tpe-biomimetisme-chimie.e-monsite.com>)

[c5] (source :<http://pinterest.fr>)

[c6] (source:<http://biomimetisme.eklablog.com>)

[c7] (<http://fr.made-in-china.com>)

[c8] (Source : <http://info-stades.fr>)

[c9] (Source : <http://futura-science.com>)

[c10] (Source : <http://tomsguide.fr>)

[c11] (<http://futura-science.com>)

[c12] (<http://industrie-techno.com>)

[c13] (Source : <http://sptpe.wordpress.com>)

## ***Résumé***

Alors que le déclin de la biodiversité découlant de fortes pressions d'origine anthropique est largement confirmé par la science, l'Homme n'a jamais autant qu'aujourd'hui tiré profit de la biodiversité tant pour en exploiter la biomasse, que comme source d'inspiration. De nombreuses réalisations découlent de ce que l'on appelle le « biomimétisme » qui propose de s'inspirer de la Nature et de ses 3,5 milliards d'années d'évolution pour innover, optimiser des procédés existants ou copier les éléments et processus naturels, avec parfois des retombées économiques considérables. Afin de comprendre les enjeux et les risques de cette approche relativement récente de l'exploitation du monde vivant, la FRB a été missionnée par le ministère de la transition écologique et solidaire de l'état français pour réaliser une veille scientifique et identifier ainsi les menaces et opportunités actuelles du biomimétisme pour la biodiversité.

## **Abstract**

While the decline in biodiversity resulting from strong anthropogenic pressures is widely confirmed by science, man has never before benefited as much as today from biodiversity both as biomass and inspiration sources. Many achievements are the result of what we call "biomimicry", which proposes to draw inspiration from Nature and its 3.5 billion years of evolution to innovate, optimize existing processes or copy natural elements and processes, sometimes with considerable economic benefits. Especially when it comes to finding other greener energy sources, and the processes to store it.