



Bienvenue !

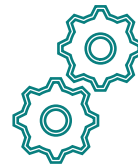
Journée des abonnés Biome+ 2024

Programme de la journée

09h30

**Ressources, outils et derniers développements
méthodologiques du biomimétisme**

Par l'équipe Ceebios



11h30

**Expéditions scientifiques et dernières découvertes sur la
fluorescence dans le vivant**

Par Serge Berthier (INSP, Université Paris-Diderot)

14h00

Réalités biologiques derrière les « principes du vivant »

Par Guillaume Lecointre (ISYEB, MNHN)



15h00

**Voyage en images par un jardinier-artiste-ingénieur
Visite guidée d'un jardin en mouvement par son concepteur**

Par Gilles Clément (ENSPV)





**Partage d'informations
et actualités du biomimétisme**

Un QG pour le biomimétisme

L'équipe Ceebios s'installe à la Climate House

Au cœur de Paris, un lieu dédié à la transition écologique, porté par 80 entrepreneurs engagés (Too Good To Go, Green Got, Makesense...)

Un espace pour le biomimétisme, sélectionné parmi 700 candidatures
Un positionnement stratégique du biomimétisme !

Avec pour colocataires quelques sociétaires de la coopérative **#SCIC Ceebios**
La Belle Société Production (Nautre=Futur!), NewCorp Conseil (Biomim'Expo), InSitu, Aïna Queiroz, Sator (masterclass), Anima (start-up studio, biomim & IA) et notre joint-venture sur les outils numériques



Colloque sur la chimie bio-inspirée

Les usines du vivant :
génération et transformation de matériaux et de principes actifs

4^{ème} rencontres académie-industrie du Comité National de la Chimie

5 déc. 2024 à la Maison de la Chimie à Paris – gratuit sur inscription

<https://www.cncchimie.org/rencontres-cnc-4>

Bioproduction, micro-organismes, micro-algues, biocatalyseurs...

Dernières avancées académiques et témoignages de développements industriels

HTL Biotechnology, Seqens, Sanofi, BASF, L'Oréal, Avril, Michelin, Arkema, Syensqo



Exposition

Mobilité bio-inspirée

Ceebios partenaire scientifique de l'Institut des Mobilités et Transports Durables pour l'exposition Biom'mobilité du 26 sept. au 20 déc 2024.

Focus sur les problématiques de la filière :
matériaux, énergie, communication, environnement

Démonstrateurs et contributions de **start-ups**, (FinX, Modulatio'...)
d'**industriels** (Airbus, SNCF...), de **la recherche académique**
(CeaTech, Aix-Marseille Université), de **projets étudiants** (INSA
Hauts-de-France, Rubika...), d'**artistes** (BiolumReef, Luc Schuiten...)

Table ronde avec l'ensemble des partenaires jeudi 21 novembre



Le biomimétisme à l'honneur

Les assises de l'économie de la mer

19-20 novembre 2024 à Bordeaux
Rendez-vous annuel de la communauté maritime française
Focus sur le biomimétisme marin avec Juliette Verseux



Les Assises
économie de la MER

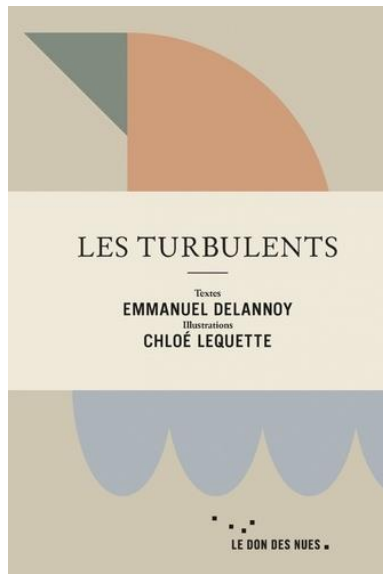


L'Université de la Terre

14-15 mars 2025 à Paris, à l'UNESCO
Edition des 20 ans dédiée à l'équation Nature=Futur
Conférence inaugurale sur le biomimétisme par Kalina Raskin



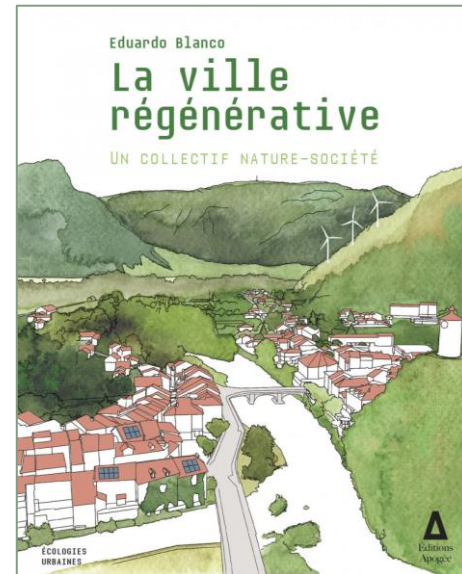
Rentrée littéraire du biomimétisme



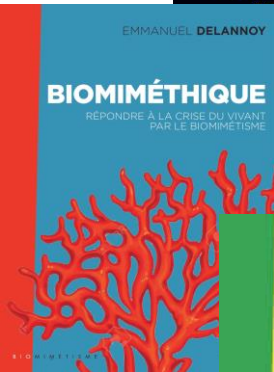
mai 2024

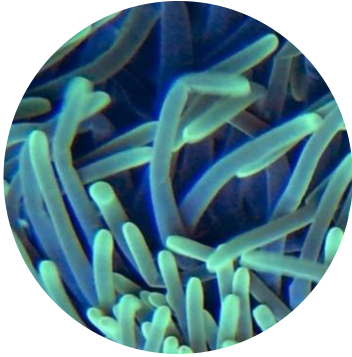


août 2024



novembre 2024





Ressources, outils et derniers développements
méthodologiques du biomimétisme

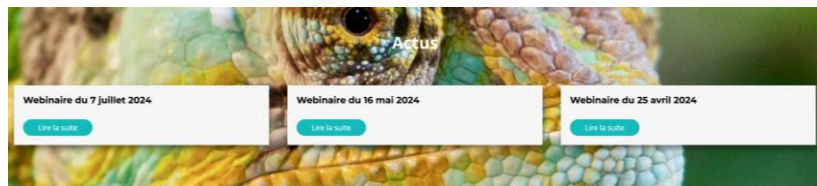
Médiathèque Biome+

Plateforme pour les abonnés.es

Un espace plus ergonomique pour consulter toutes vos ressources :

- Replays des webinaires mensuels
- Parcours introductif au biomimétisme
- Documentation spécialisée

Modalités de connexion transmises fin août.



Thèses méthodologiques



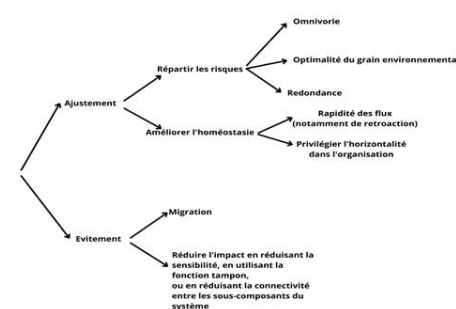
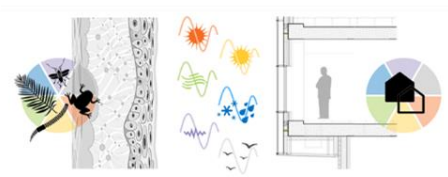
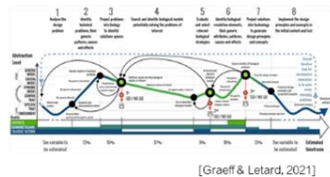
PhD Anneline Letard 2018-2021
Knowledge transfer through the creative approach of design



PhD Estelle Cruz 2017-2021
Bio-inspired building envelopes for multi-functional facades



PhD Eduardo Blanco 2019-2022
Ecosystemic services for regenerative urban projects



Management de
l'innovation

Multifonctionnalité

Régénératif

Eco-conception
Adaptation au
changement climatique



Etats de l'art thématiques

Matériaux bio-inspirés



Partie 1 / Matériaux synthétiques - approche industrielle

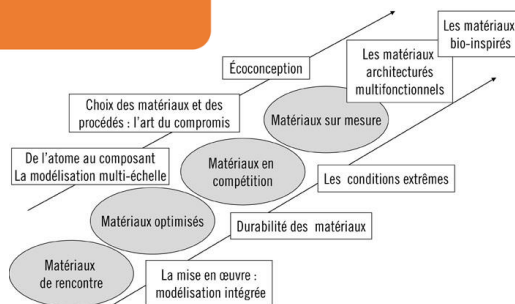
- A. Matières premières
- B. Enjeux par secteurs d'activité
- C. Science des matériaux

Partie 2 / Matériaux biologiques - approche naturelle

- A. Cahier des charges
- B. Briques élémentaires
- C. Structures
- D. Fonctions

Partie 3 / Matériaux bio-inspirés - approche biomimétique

- A. De la nature à l'innovation
- B. Techniques de manufacture
- C. Cartographie des compétences



	Matériau biologique	Matériau manufacturé
Composition atomique	Un petit nombre d'éléments légers domine : C, N, O, H, Ca, P, Si, S, Fe	Une grande variété d'éléments : Fe, Cr, Ni, Al, Si, C, N, O...
Nature des matériaux	3 famille de Polymères (protéines, polysaccharides, acides nucléiques) Céramiques (sels de calcium, silice...) Variété de composites	Polymères et élastomères Verres et céramiques Nombreux Métaux et alliages
Architecture	Hierarchie des structures à toutes les échelles entre le nanomètre et le millimètre.	Mise en forme de la pièce Microstructuration du matériau
Liaisons chimiques	Molécules consolidées par de nombreuses liaisons faibles inter- et intra-chaînes (liaisons hydrogène)	Molécules dont la solidité dépend de de l'énergie de liaison élevée le long de la chaîne principale des molécules
Procédé de fabrication	Croissance (bottom-up) par autoassemblage contrôlé biologiquement (design approximatif)	Fabrication à partir de phases mal condensées de la matière (liquide, gaz, poudres...) (design exact)
Conditions de formation	Procédé à basse température nécessaire Nature est limitée aux polymères et à la chimie des solutions ioniques	Procédé à toute température possible (amplitude de 2000 °C) L'apparition de nouveaux matériaux est associée à de nouvelles gammes de procédés.
Propriétés mécaniques	Combinaison de phases dures (cassantes) et de phases molles (résistantes à la rupture)	Matériaux durs non tenaces
Adaptation à la fonction	Adaptation/optimisation de la forme et de la structure pour remplir plusieurs fonctions	Design de la pièce et sélection du matériau et du procédé pour répondre à la fonction
Résolution de problème	Utilisation de l'information	Consommation d'énergie
Durabilité	Evolution des propriétés en réponse aux stimuli de l'environnement Autoréparation	Conception sécurisée (dimensionnement en fonction de la charge maximal et de la fatigue mécanique)
Recyclabilité	Petit nombre d'éléments Faible énergie de liaison moléculaire facilite leur rupture en vue du recyclage	Grande variété de produits à transformer Nécessité d'apporter grande quantité d'énergie pour casser les liaisons



Etats de l'art thématiques

Matériaux bio-inspirés



Partie 1 / Matériaux synthétiques - approche industrielle

- A. Matières premières
- B. Enjeux par secteurs d'activité
- C. Science des matériaux

Partie 2 / Matériaux biologiques - approche naturelle

- A. Cahier des charges
- B. Briques élémentaires
- C. Structures
- D. Fonctions

Partie 3 / Matériaux bio-inspirés - approche biomimétique

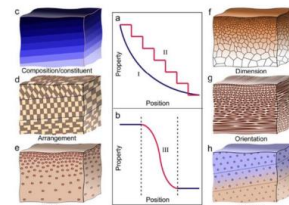
- A. De la nature à l'innovation
- B. Techniques de manufacture
- C. Cartographie des compétences

Etat de l'art 2020

Matériaux bio-inspirés

C. Gradients 1/2

Les gradients caractérisent la **nature non-uniforme des matériaux**, généralement prisés des surfaces ou aux interfaces. Ils **présentent des gradients** impliquant des changements abrupts, entre des particularités structurales différentes, évitant ainsi d'accumuler des contraintes locales ou déployant une propriété très adaptée. Les hétérogénéités spatiales des matériaux biologiques prennent la forme de **variations** de composition chimique, d'arrangement, de distribution, d'orientation, de dimensions des constituants. Ces gradients s'inscrivent sur plusieurs échelles caractéristiques au sein des matériaux hiérarchisés. Les propriétés globales d'un même matériau sont améliorées par ces ajustements locaux qui répondent à des besoins spécifiques.



Gradient de composition

Ces variations en nature et concentration en briques élémentaires – biomimétiques, biomimétiques – ainsi que le **terme en eau** participent à l'établissement de gradients de propriétés, notamment mécaniques.

Un **haut degré de minéralisation** pris des surfaces, améliore la résistance aux contraintes mécaniques et à l'abrasion, ce qui est observé dans la structure des dents, des écailles de poisson et des mandibules d'écureuils.

PARTIE 2 – MATÉRIAUX BIOLOGIQUES – APPROCHE NATURELLE



Gradient de porosité dans les feuilles des plantes pour réduire leur poids en maintenant une certaine rigidité.

Gradient de porosité dans le tige de bambou pour éviter l'effondrement des parois denses et réduire le poids en maintenant une certaine rigidité.

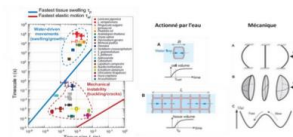
PARTIE 2 – MATÉRIAUX BIOLOGIQUES – APPROCHE NATURELLE

D. Matériaux multiformes 1/2

Contrairement aux animaux qui disposent des propriétés contractiles de certaines protéines pour déformer les tissus musculaires, les végétaux sont construits mécaniquement par des cellules aux parois rigides, entourées de microfibrilles ordonnées de cellulose. Pourtant, dans le règne végétal, une grande variété de **mouvements** des plus lents (tension cellulaire, métil) aux plus rapides (libération des spores, m/s) permettent de se rapprocher des sources de lumière d'attraper des proies, de disposer des graines. Ces **déformations** présentent un caractère réversible ou non, actif (physiologique) ou passif (stimulus externes), orienté (tropisme) ou non (traité).

Deux mécanismes principaux modifient la **forme des végétaux** à différentes échelles de temps :

- les échanges hydrauliques, plutôt lents, provoquant des changements de volumes cellulaires,
- les instabilités mécaniques, très rapides, induisant un changement d'état d'équilibre.

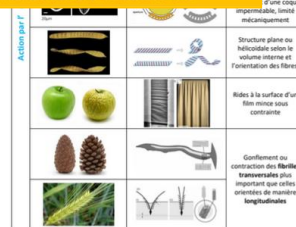


Mouvements hydrauliques

À l'échelle de la cellule, les flux d'eau sont régis par les **phénomènes osmotiques** : la différence de concentrations en éléments chimiques de part et d'autre de la membrane provoque une diffusion d'eau. En général, les cellules sont gonflées, l'eau applique une pression importante sur les parois (pression de turgescence) qui les rend rigides. Cet état est réversible selon les conditions extérieures (pression, humidité, température) : la déshydratation induit un ramollissement des tissus. La déformation macroscopique est lente puisqu'elle repose sur une diffusion à l'échelle moléculaire. Le mouvement des fleurs illustre bien les propriétés mécaniques élastiques (élastiques) associées à l'état d'hydratation. Dans le cas de la plante mimosa pudica, le repliement des feuilles suite à une excitation mécanique est dû à un transfert d'eau depuis les cellules situées sur la surface supérieure vers les cellules sous-jacentes. L'**expansion cellulaire** est particulièrement visible chez des cellules géantes comme celles de certains champignons (Physarum) : le gonflement par l'eau est associé à un fort hétérogénéité et à l'augmentation de la surface des parois végétales (allongement cellulaire).

Lorsqu'il se détache de la plante, les graines et les fruits sont dotés de mécanismes d'adaptation en eau (jaunes). Ils sont donc particulièrement soumis aux **fluctuations d'hygroscopie** ambiante. Le séchage d'un grain de pollen assure sa conservation mais ne doit pas être excessif pour

PARTIE 2 – MATÉRIAUX BIOLOGIQUES – APPROCHE NATURELLE



Structure plane ou hélicoïdale selon le volume interne et l'orientation des fibres.

Rides à la surface d'un film mince sous contrainte.

Gonflement ou contraction des fibres transversales plus important que celles orientées de manière longitudinales.

PARTIE 2 – MATÉRIAUX BIOLOGIQUES – APPROCHE NATURELLE

Etats de l'art thématiques

Matériaux bio-inspirés



Partie 1 / Matériaux synthétiques - approche industrielle

- A. Matières premières
- B. Enjeux par secteurs d'activité
- C. Science des matériaux

Partie 2 / Matériaux biologiques - approche naturelle

- A. Cahier des charges
- B. Briques élémentaires
- C. Structures
- D. Fonctions

Partie 3 / Matériaux bio-inspirés - approche biomimétique

- A. De la nature à l'innovation
- B. Techniques de manufacture
- C. Cartographie des compétences

B. Autoassemblage 1/3 – moléculaire

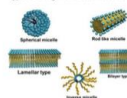
L'autoassemblage peut être défini comme l'organisation **spontanée** de matière par des interactions **non covalentes** (liaisons hydrogènes, forces de Van der Waals, forces électrostatiques, ...) **sans intervention extérieure**. Le processus d'autoassemblage est répandu en biologie et permet de former des **structures complexes** à partir de briques élémentaires simples. Les procédés de fabrication par autoassemblage permettent de reproduire le **haut niveau d'organisation** des matériaux du vivant, notamment les structures **hiérarchiques**.

Autoassemblage de molécules asymétriques

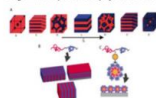
Les membranes des cellules biologiques se forment par **autoassemblage de phospholipides**. Ces molécules sont **symétriques**, c'est-à-dire qu'elles comportent une partie **hydrophile** et une partie **hydrophobe**. Les molécules asymétriques présentent des domaines moléculaires de composition et de propriétés distinctes. Elles s'autoorganisent pour **minimiser l'énergie d'interaction** et **autoriser la coexistence de phases incompatibles**.

Les **tensioactifs** et les **copolymères à blocs** en sont les exemples les plus classiques. Ces édifices supra-moléculaires, générés par autoassemblage, représentent un niveau d'organisation intermédiaire entre l'échelle moléculaire et des nanostructures. Selon la composition des molécules et leurs concentrations relatives, il est possible d'obtenir une large gamme de morphologies. Celles-ci sont rassemblées au sein d'un diagramme de phase.

Types d'arrangements de tensioactifs



Diagrammes de phase des copolymères à blocs



Les **molécules de tensioactifs** s'assemblent spontanément en agrégats moléculaires de formes variées (sphères, cylindres, lamelles).

Les **copolymères à blocs** sont des chaînes de polymères, constituées de domaines moléculaires de composition et de propriétés distinctes. Ils s'autoorganisent en structures de morphologies très différentes selon la proportion de chacun des domaines. Ci-dessous est présenté un diagramme de phase des structures les plus communes formées à partir de copolymères diblocs.

PARTIE 3 – MATÉRIAUX BIO-INSPIRÉS – APPROCHE BIOMIMÉTIQUE

B. Manufacture additive 2/3

Sur de nombreux critères, le **biomimétisme** et l' convergent et répondent à des enjeux mutuels : une production locale, à la demande, par une approche « bottom-up » personnalisable et qui minimise la génération de déchets. Le biomimétisme contribue à fournir les **designs** et **concepts** pertinents dans une optique d'utilisation efficiente de la matière, alors que l'impression 3D est la **technique technologique** qui les rendent possibles. Le vivant donne des exemples de **nano-composites modulaires**, à partir d'un nombre restreint de matières premières et une grande diversité d'assemblage. On peut ainsi dévisser nos habitudes géométriques et utiliser la bio-inspiration comme champ de visibilité. La question des **matériaux utilisés** reste un point crucial de développement. L'impression 3D repose encore beaucoup sur des matériaux traditionnels de l'industrie, non durables.

Les principaux **champs d'application** de cette association biomimétisme et impression 3D sont :

- L'ingénierie des tissus et implants (os, dents, peau) personnalisés et biocompatibles,
- La production de matériaux techniques (complexes, légers, durables) pour l'aérospatial, l'aéronautique, la construction, le secteur automobile, le sport ...
- La robotique.

Bioinspired 3D Printing Solutions



Design et architecture

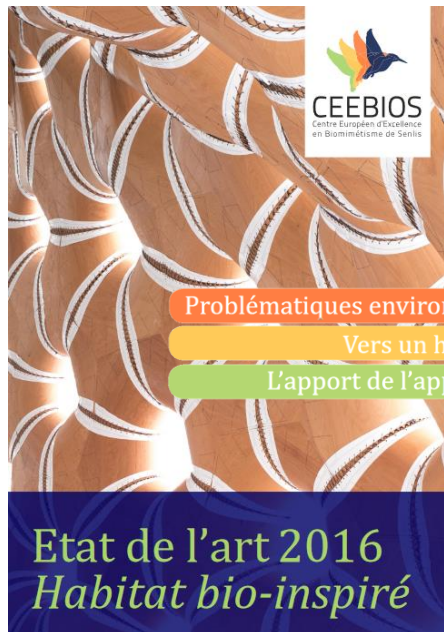
Contrairement aux méthodes traditionnelles, les techniques structurales, moulées ou mises en forme – la manufacture additive repose sur l'**action de matière**. Dans ces conditions, la complexité n'est pas plus contraignante que la simplicité. Il devient possible d'élaborer des structures géométriquement sophistiquées sans succéder en termes d'énergie, de matières premières ou de temps. Une bonne adéquation entre le design et la fonction doit même permettre de réaliser des **structures légères** et une **économie dans la quantité de matière** pour des performances mécaniques identiques. On peut classer ces structures en **nid d'abeille** et ses dérivés.

PARTIE 3 – MATÉRIAUX BIO-INSPIRÉS – APPROCHE BIOMIMÉTIQUE



Etats de l'art thématiques

Habitat inspiré du vivant



Problématiques environnementales liées à l'Habitat

Vers un habitat durable

L'apport de l'approche biomimétique

Les initiatives remarquables en architecture bio-inspirée BIOFACADES - Biomimétisme et bio-utilisation



Figure 1 - Biomimétisme (2D) d'une façade, 2010, biomimétisme

Problématiques

- Stockage de CO₂ et régulation climatique
- Protection des façades comme bio-énergie, bio-fertilisants, complément alimentaire.
- Valorisation des déchets au sein du bâtiment

Constats

- Les façades des bâtiments présentent de larges surfaces poreuses très adaptées pour la mise en culture de microalgues permettant les ressources thermique et chimique contre culture et labelling, dans une approche de symbiose interurbaine.

Initiatives existantes "Genius of biome": Exemple

Challenge!

Utilisation efficace des ressources économiques

Les facteurs

- La structure des forêts s'adapte aux perturbations locales pour les atténuer (effets d'ombrage, l'empilement des troncs, l'empilement des branches, l'empilement des feuilles, etc.)
- Les arbres les plus adaptés leur croissance pour résister au vent.
- Les racines des arbres deviennent un soutien naturel aux structures.
- Les arbres tombés ou cassés permettent l'expansion de la biodiversité.
- Les effets des écosystèmes augmentent leur résilience.

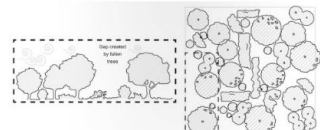
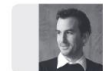


Figure 1 - La conception naturelle, diverses structures pour atténuer les perturbations

Les initiatives remarquables en architecture bio-inspirée SFB-TRR 141 : Travaux remarquables



Prof. AA Dipl. Achim Menges
Modélisation numérique et Architecture computationnelle

En 1975, Achim Menges est un architecte et un théoricien de la conception computationnelle en architecture. Il est une figure internationale de la pensée et de l'ingénierie biomimétiques.

En 2009, il est membre du réseau international ICAD (International Center for Architecture and Design) et dirige, avec Michael Haeussler, directeur du Centre de Recherche pour l'Architecture et la Technique (CRAT) à l'École d'Architecture d'Osaka, le projet de la nature de l'architecture. Comme pour un organisme vivant, le processus de formation des os est implémenté dans le processus de formation des structures.

Professeur invité dans le département de génie des matériaux et de génie des matériaux, il est notamment enseignant à l'Université de Stuttgart, et il a été, en 2006, le directeur et le fondateur de l'ICAD - Institute for Computational Design, un des centres de recherche, grâce aux croisements des données structurelles, matérielles, génétiques et sensorielles, des bâtiments - l'architecture - par les principes des organismes vivants.

Achim Menges a publié plusieurs livres sur son travail et recherche, ainsi que sur les domaines connexes de la biomimétique, de l'architecture et de l'ingénierie. Il a écrit de nombreux articles et documents scientifiques. Il a été de nombreux prix internationaux pour ses projets et ses recherches en design et architecture. Publié et exposé dans le monde entier, il est connu de plusieurs collections de musées de renom et notamment, la collection permanente du Centre Pompidou à Paris.

Exemples remarquables en architecture bio-inspirée Michael Pawlyn : The Biomimetic Office Building¹



Figure 1 - Le Bureau biomimétique, Office de Biomimétisme

Présentation

Le Bureau biomimétique de Michael Pawlyn regroupe la création immobilière de bureaux conçus en biomimé-

Exemples remarquables en architecture bio-inspirée SIERPINSKI FOREST par Satoshi Sakai

SIERPINSKI FOREST² par Satoshi Sakai
Université de Kyoto



Figure 1 - Sierpinski Forest, un exemple de biomimétisme en architecture

Problématique

• Démontre de l'effet de chaleur urbain et plus généralement l'impact de l'échauffement de grandes surfaces

Constats

- Plus une surface est large, plus la température à l'interface de la chaleur sera importante. Ce phénomène a été mis en évidence concernant l'île de chaleur urbain qui génère par l'échauffement des villes ainsi qu'à l'échelle du bâtiment concerné les façades et toitures.
- Malgré leurs densités, les espaces verts conservent une température largement inférieure à celle des villes même aux périodes les plus chaudes. Ceci est en partie dû à la présence d'arbres qui par leur géométrie, leur taille aide à conserver une température basse dans ces espaces.

Sélection d'un modèle naturel

L'arbre a une géométrie fractale de dimension 2. Cette architecture permet :

- la protection d'une entité continue tout au cours de la journée (Fig 1)
- la circulation des courants d'air propulsés et créés par la turbulence des feuilles ainsi qu'à l'échelle du bâtiment concerné les façades et toitures.
- la protection des feuilles de la chaleur par la création de l'effet de l'ombre. C'est la même méthode, les petits objets s'échauffent moins que les larges surfaces (Fig 5)



Figure 1 - L'arbre de Sierpinski. Figure 2 - L'arbre de Sierpinski. Figure 3 - L'arbre de Sierpinski. Figure 4 - L'arbre de Sierpinski. Figure 5 - L'arbre de Sierpinski.

Etats de l'art thématiques

Biomimétisme & Energie



SOURCES & VECTEURS D'ÉNERGIE		
	MONDE TECHNOLOGIQUE	MONDE BIOLOGIQUE
Vecteur d'énergie majoritaire	Hydrocarbures	Photon solaire
Durée avant épuisement des stocks des vecteurs énergétiques principaux	Quelques dizaines à centaines d'années	Correspond à la durée de vie du soleil soit environ 5 milliards d'années
Taux de renouvellement des vecteurs	Plusieurs millions d'années = vecteurs fossiles	Continu = vecteurs renouvelables
Mobilité des vecteurs	Possible sur de grandes distances = énergie de stock	Limitée localement = énergie de flux
Variabilité de la disponibilité des vecteurs	Variabilité faible Jusqu'à épuisement des stocks	Variabilité permanente (saison, heure, climat, etc.)

INFRASTRUCTURE DE GESTION DE L'ÉNERGIE		
	MONDE TECHNOLOGIQUE	MONDE BIOLOGIQUE
Matériaux & composition	Grande quantité de matière, peu recyclée et présence d'éléments rares	Économie en matière, matière entièrement recyclée basée sur des éléments abondants
Assemblage des infrastructures	Assemblage industriel polluant et coûteux en énergie	Auto-assemblage dans l'eau, à température et pression ambiantes
Désassemblage des infrastructures	Désassemblage coûteux en énergie, long et polluant	Désassemblage rapide en briques élémentaires valorisées biocompatibles
Impact sur l'environnement	Pollution, destruction d'habitat, artificialisation des sols, etc.	Dépollution, création d'habitat, perméabilisation des sols, etc.
Plage de fonctionnement	Plage de fonctionnement étroite (fonctionnement dans des conditions précises), faible résistance aux conditions changeantes (optimisation monocritère / maximisation)	Plage de fonctionnement variable, d'étroite à large selon l'environnement, forte résistance aux conditions changeantes (optimisation multicritère)
Résilience des systèmes	Une dégradation même faible peut conduire à l'arrêt complet du système	Une dégradation conduit le plus souvent à une réduction du rendement avant un retour à l'état d'équilibre

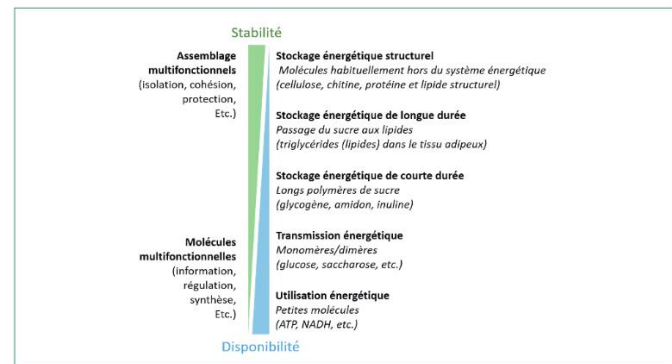


Figure 8. Illustration du principe d'assemblage en chaîne à l'échelle moléculaire pour assurer la stabilité des vecteurs de stockage d'énergie. © Ceebios

Combiné à l'échelle des tissus, ces conversions d'énergie chimique en d'autres typologies d'énergie (mécanique, électromagnétique...) assurent la réalisation des fonctions biologiques telle que :



Etats de l'art thématiques

Biomimétisme & Energie



Exemples d'opportunités biomimétiques pour les technologies associées aux systèmes électrochimiques 1/2

▼ Nature des entités réactives

Comment faire face aux enjeux d'extraction et fin de vie des composants notamment métalliques ?
 -> Biohydrometallurgie et biolixiviation comme procédés d'extraction douce de matériaux métalliques¹⁴.
 -> Remédier des sols grâce aux capacités d'absorption des plantes et champignons, phyto/mycoremédiation¹⁵.

Quelles alternatives aux composants peu abondants tels que ceux constitutifs des catalyseurs (ex. platine) ?
 -> Utiliser des entités organiques biodégradables, recyclables et abondantes plutôt que des éléments métalliques extraits du sol¹⁶.
 -> Alternative aux éléments particulièrement rares comme le platine en tant que catalyseur : catalyse bio inspirée des hydrogénases¹⁷.

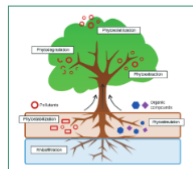
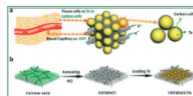


Schéma des sous-processus de la phyto-remédiation (ordres: Tawana, Wikipedia)



Architecture d'électrode inspirée de l'architecture musculaire

▼ Architecture du système

Comment optimiser l'architecture des composants d'échange et de stockage (électrolytes et électrodes) des dispositifs électrochimiques ?

-> S'inspirer des structures biologiques de stockage et disponibilité d'entités pour des réactions (ex: structure capillaires/muscle)¹⁸.
 -> Le vivant est rempli de structures à rapport volume/surface adaptées à la fonction d'échange ou de stockage : porosité des structures biologiques, structuration de surfaces au laser pour augmenter la surface d'échange^{19,20}.
 -> Ces sujets sont valables pour l'architecture d'une batterie (ex : Li-ion) mais aussi pour les problématiques de stockage de H₂ (notamment la piste des nanotubes de carbone pour les piles à combustible)²¹.

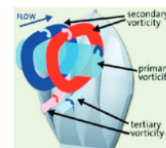


Exemples d'opportunités biomimétiques pour les technologies associées aux turbines hydrauliques 1/2

▼ Gestion des phénomènes hydrodynamiques

Comment réduire les frottements, la traînée et les turbulences ?

-> Prévenir le décrochage de la couche limite par la structuration de la surface de contact avec le fluide comme chez le requin permettant de générer activement et de manière dirigée des vortex, comme pour l'effet riblet¹.
 -> Un ensemble de modèles d'inspiration de forme, comme les tubercules des nageoires de baleine, on été appliqués à la fois aux turbines hydrauliques et aux éoliennes (voir éolien).



Modèle d'une dentelle de requin

Comment réduire les pertes de charges ?

-> S'inspirer du système sanguin afin d'en tirer des apprentissages sur la limitation des pertes de charges².



Exemples d'opportunités biomimétiques pour les technologies associées aux réseaux d'électricité 1/3

▼ Régulation énergétique

Comment assurer un apport énergétique constant ?

-> S'inspirer du processus d'homéostasie qui régule le maintien des constantes d'un organisme autour d'une valeur de consigne malgré des fortes variations environnementales³ (exemple pour la thermo-régulation, image).

Comment optimiser l'anticipation des phénomènes ?

-> S'inspirer d'algorithmes de prévision inspirés des réseaux de neurones⁴, du comportement des fourmis⁵, du comportement parasite du coucou ou encore de celui des abeilles (pour le moment appliqué à l'habitat)⁶.

Comment générer de l'information stratégique ?

-> Multiplier des typologies de capteurs pour recueillir les informations et apporter une réponse adéquate (ex : mécanique comme pour la peau humaine, photosensible comme les cellules végétales, vibration des câbles comme la toile de l'araignée, etc.)^{7,8}.

Comment assurer une prise de décision rapide et adaptée ?

-> Décentralisation initiale de la prise de décision avec une réponse préalable, puis affinée et stockée comme pour le contrôle des tentacules de la pieuvre⁹.
 -> S'inspirer du système nerveux central des animaux bilatéraux qui coordonne les mouvements des membres notamment¹⁰.

Comment augmenter/réduire localement l'apport en énergie ?

-> S'inspirer des vaisseaux sanguins dont la variation locale du diamètre permet de réguler l'apport d'énergie en fonction du besoin¹¹.

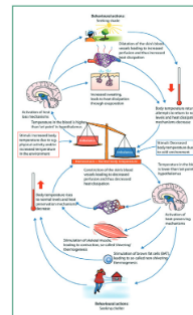
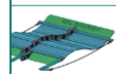
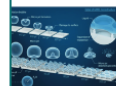


Diagramme simplifié des boucles de contrôle permettant le contrôle du flux d'énergie thermique chez le marmosète¹²

¹² Dardouville, F., Sund, L., and M. (2020). Thermoregulation of the Marmoset. In: Dardouville, F., Sund, L., and M. (Eds.), Understanding Power and Body Temperature. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21888-7_3



Le système onduleur Eol-Energy

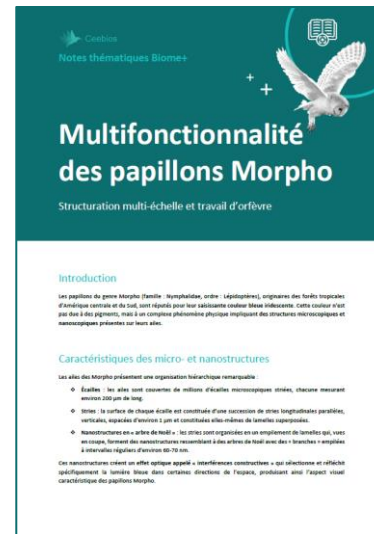
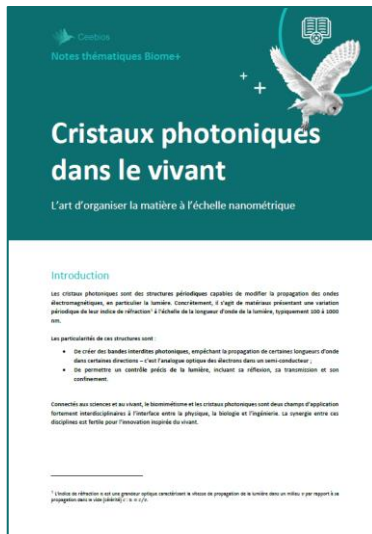


Impact de l'effondrement de cavitation par modification de l'interface solide-liquide



Notes thématiques

Focus biologique / Angle d'attaque méthodologique / Revue technologique

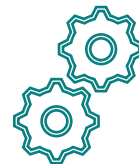


Programme de la journée

09h30

**Ressources, outils et derniers développements
méthodologiques du biomimétisme**

Par l'équipe Ceebios



11h30

**Expéditions scientifiques et dernières découvertes sur la
fluorescence dans le vivant**

Par Serge Berthier (INSP, Université Paris-Diderot)

14h00

Réalités biologiques derrière les « principes du vivant »

Par Guillaume Lecointre (ISYEB, MNHN)



15h00

**Voyage en images par un jardinier-artiste-ingénieur
Visite guidée d'un jardin en mouvement par son concepteur**

Par Gilles Clément (ENSPV)

