

## La bio-inspiration : une stratégie d'innovation prometteuse dans le domaine des polymères

Nous ne cessons d'observer et de découvrir la complexité et le génie de la nature. Celle-ci est, en effet, une source inépuisable d'inspiration et de développement pour toutes les sciences et techniques ainsi que pour la conception et la réalisation des objets qui nous entourent. La nature regorge de polymères qui sont des modèles d'ingéniosité. Seulement deux monomères pour les polysaccharides, vingt-deux acides aminés pour les protéines et cinq bases azotées pour l'ADN/ARN sont à la base de la chimie du vivant. Comment obtenir une telle diversité de systèmes biologiques et de fonctions à partir de si peu ? La nature joue sur de multiples aspects : structure multi-échelle, combinaison avec d'autres matériaux, économie des ressources par la multifonctionnalité, conditions minimales de température et pression, tout en s'adaptant et en s'inscrivant dans l'environnement. Une source d'inspiration prodigieuse pour les chimistes, qui cherchent à créer des objets à la fois toujours plus performants et fonctionnels, mais aussi respectueux de l'environnement.

Le Groupe français d'études et d'applications des polymères (GFP) [1] – division Chimie des polymères et matériaux de la Société Chimique de France (SCF) – a organisé le 26 janvier 2023 un atelier dédié à cette thématique intitulé « De la bio-inspiration au biomimétisme – Enjeux pour les polymères ». Cet évènement, qui était à l'initiative du groupe Veille et prospective (V2P) du GFP, s'est tenu à l'École nationale supérieure des Arts et Métiers, sous le pilotage d'Alain Guinault.

Les ateliers V2P ont pour objectif de s'intéresser aux grandes avancées, établies ou prometteuses, impactant le domaine des polymères, afin de générer des réflexions transdisciplinaires et d'y sensibiliser la communauté des polyméristes [2]. En faisant appel à des experts, les précédents colloques ont mis en lumière de nouveaux enjeux (impact environnemental des

microplastiques, intelligence artificielle), l'essor de nouveaux matériaux (biopolymères, vitrimères) ou de nouvelles technologies (fabrication additive).

L'atelier du 26 janvier a été organisé sous la direction scientifique de Laurent Billon, professeur à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour [3], fortement impliqué dans le domaine de la bio-inspiration et membre du Centre d'études et d'expertises en biomimétisme (Ceebios) [4].

Il a regroupé des représentants de la recherche académique comme de l'industrie, avec au programme des discussions autour des différentes stratégies de développement de produits, de matériaux, d'insertion de fonctionnalités spécifiques au travers de présentations d'acteurs industriels très engagés dans ce domaine et de conférences de chercheurs. Les exposés ont illustré leurs démarches tout en dégagant l'important potentiel de ces approches bio-inspirées, en particulier dans le domaine des polymères. Les échanges ont été stimulés par le rôle central du modérateur, Hervé Arribart, ex-directeur scientifique de Saint-Gobain Recherche.

La journée a été introduite par L. Billon, qui a posé le contexte : la nature est capable de créer des matériaux alliant performance, multifonctionnalité, durabilité et circularité. La bio-inspiration apparaît donc comme une stratégie particulièrement prometteuse pour la recherche, soutenue par le développement des techniques d'analyse qui permettent une compréhension accrue du vivant.

Aujourd'hui, la normalisation permet de distinguer bio-inspiration, biomimétique [5] et biomimétisme [6-7] (figure 1). Comparé à la biomimétique et à la bio-inspiration, le biomimétisme ajoute un défi supplémentaire : celui de s'inscrire dans une philosophie de développement durable, prenant en compte l'impact environnemental et socio-économique.

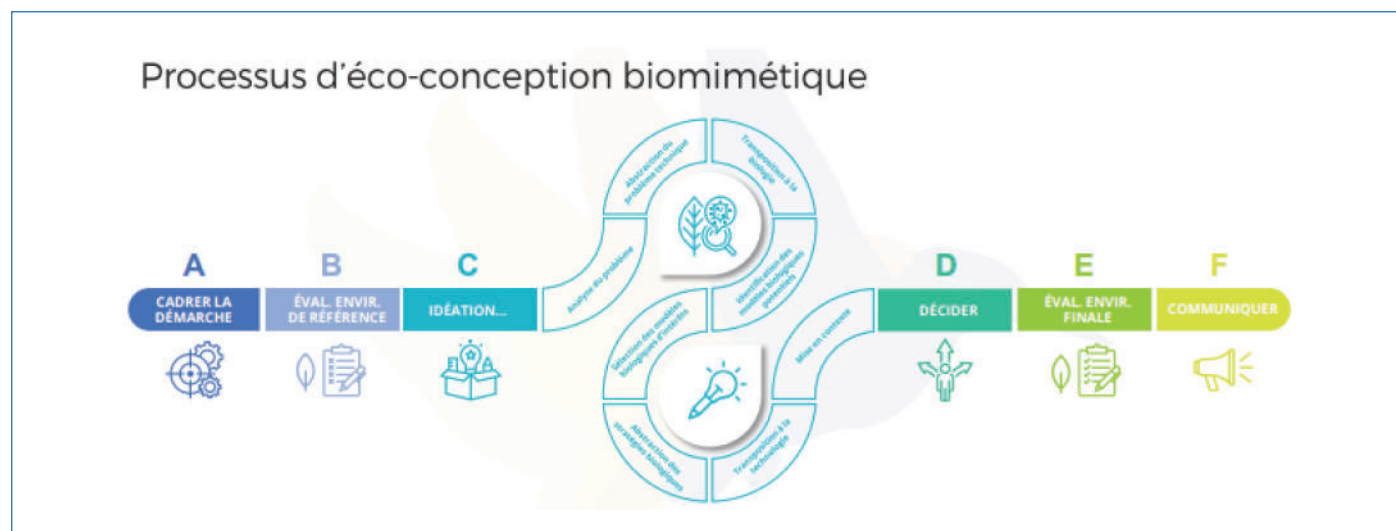


Figure 1 - Étapes de conception suivant une démarche de biomimétisme [4].

Le rôle essentiel du Museum national d'histoire naturelle (MNHN) [8] dans le développement de stratégies bio-inspirées a été mis en évidence grâce à l'intervention de Cécile Bernard, directrice de la recherche du MNHN. En effet, les chercheurs du Museum disposent de ressources et connaissances exceptionnelles sur le monde du vivant. Celles-ci ont une importance capitale dans la compréhension et le recensement de ses mécanismes, afin de les rendre accessibles. L'ordre du jour est donc à la collaboration multidisciplinaire, notamment avec les chercheurs en biologie, écologie, sciences humaines et sociales, mais également entre le monde académique et non académique. Le Museum se positionne également dans une approche réflexive concernant la bio-inspiration qui doit se faire dans le respect de valeurs clés telles que la scientificité, l'éthique pour l'environnement et le bien-être animal.

Une intervention de Dounia Dems a présenté le rôle essentiel du Ceebios dans le domaine [4]. Cette société coopérative d'intérêt collectif à but non lucratif (rôle pivot entre le public et le privé) mène de nombreuses recherches autour de la méthodologie du biomimétisme [9] : quels acteurs regrouper ? Comment faciliter la coopération et le transfert des savoirs ? Comment rendre accessible cette immense base de données qu'est le vivant ? Le Ceebios offre des accompagnements et des formations à une démarche créative et structurée de résolution de problèmes fondée sur la bio-inspiration [10], dédiés à des publics variés allant des étudiants aux industriels... en passant donc, pourquoi pas, par les polyméristes !

Si le fait de s'inspirer de la nature n'est pas une stratégie nouvelle [11], elle a connu un essor considérable ces dernières années avec le progrès des biotechnologies et un souci grandissant pour une chimie plus durable. Ainsi de très beaux exemples de stratégies bio-inspirées liées au domaine des polymères ont été présentés tels que :

- le stockage ultra compact d'information sur ADN, par Marc Antonini [12] : on y apprend comment maîtriser les phases complexes de codage/décodage, illustré par le stockage et sa restitution d'une photographie sur un support de type ADN ;
- les biomatériaux pour la santé, impliquant l'élaboration de macromolécules complexes mais structurellement parfaitement définies pour élaborer des bio-objets semblables à ceux du vivant et allant par étape jusqu'à la création de cellules artificielles douées de fonctionnalités similaires de biotransport et de biosynthèse, par Sébastien Lecommandoux [13] ;
- la modification de surface de biomatériaux et l'étude de la migration de cellules dans des systèmes bi- et tridimensionnels obtenus par polymérisation à deux photons, par Vincent Semetey [14] ;
- la structure de surfaces anti-adhésives par électropolymérisation s'inspirant des plantes et animaux montrant des propriétés de super hydrophobicité, par Frédéric Guittard [15] ;
- l'impression 4D de biocomposites mimant la structuration hétérogène à l'échelle nanométrique de la pomme de pin, permettant de changer de forme en fonction de l'humidité, par Antoine Le Duigou [16] ;
- de nouvelles voies de développement de matériaux composites haute performance et multifonctionnels issues de la démarche d'idéation du Ceebios, par Eléonore Mathis ;

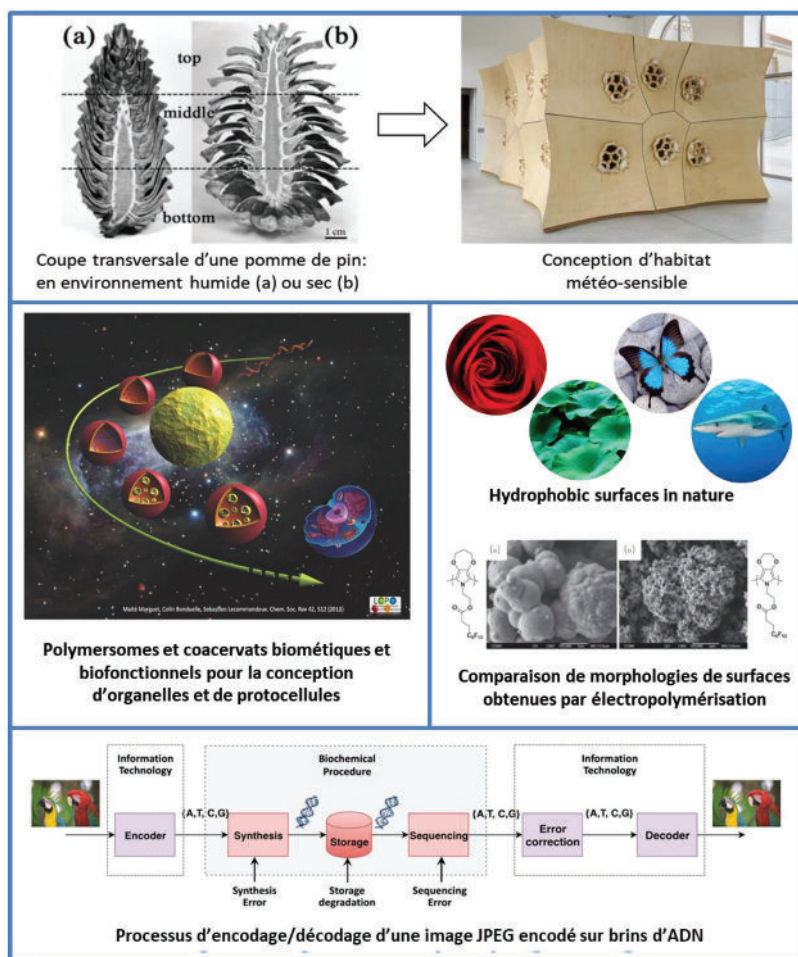


Figure 2 - Quelques exemples représentatifs de la démarche de bio-inspiration présentés lors de l'atelier.

- des principes actifs en cosmétique obtenus par extraction/purification de deux plantes aux propriétés particulières, moringa et *Cistus monspeliensis*, par Florence Henry ;
- la recherche de substituants aux polymères actuels présentant une meilleure biodégradabilité et indice de naturalité plus élevée, par Laurent Pavan.

La variété des projets de recherche présentés ont mis en avant les multiples aspects de la bio-inspiration : la forme, la structure, la fonctionnalité, la composition chimique sont autant de paramètres à prendre en compte et d'opportunités d'innover (figure 2). La forte implication de grands groupes dans ce domaine, comme L'Oréal [17], Solvay [18] et BASF [19], ainsi que le nombre grandissant de sociétés et startups présentées par L. Billon démontrent le potentiel d'expansion de la démarche à l'échelle industrielle.

Une table ronde regroupant des représentants académiques, de l'industrie et des médias a clôturé la journée. Les discussions, menées par Hervé Arribart, ont mis en avant l'importance de communiquer sur les différentes stratégies de bio-inspiration, à la fois pour encourager les scientifiques à s'y intéresser, mais également pour sensibiliser le grand public à ses enjeux. Le terme « bio-inspiration » est en effet associé à des projets extrêmement nombreux et variés, à la fois en chimie et bien au-delà (architecture, design, économie) [20]. Perçu comme un concept vague il y a encore quelques années, il pourrait aujourd'hui devenir un véritable levier d'innovation.

L'intérêt grandissant pour la bio-inspiration, le biomimétisme et la biomimétique soutient fortement leur développement

et leur rayonnement médiatique. L'apparition de groupes de recherche [21], d'évènements [22] et de formations dédiées [23-27], notamment pour les étudiants chimistes, en est la preuve. Les polyméristes, à l'instar des autres membres de la communauté scientifique, ont tout à gagner à s'inspirer du vivant pour progresser dans leurs recherches tout en faisant face aux défis du dérèglement climatique et, en général, de la réduction de l'impact des activités humaines sur l'environnement.

- [1] [www.gfp.asso.fr](http://www.gfp.asso.fr)
- [2] [www.gfp.asso.fr/veille-et-prospective](http://www.gfp.asso.fr/veille-et-prospective)
- [3] [www.univ-pau.fr](http://www.univ-pau.fr)
- [4] <https://ceebios.com>
- [5] [www.iso.org/fr/standard/62500.html](http://www.iso.org/fr/standard/62500.html)
- [6] [www.iso.org/fr/standard/62499.html](http://www.iso.org/fr/standard/62499.html)
- [7] [www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/innovation-th10/ingenierie-de-l-innovation-42833210/biomimetisme-et-supports-methodologiques-in218](http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/innovation-th10/ingenierie-de-l-innovation-42833210/biomimetisme-et-supports-methodologiques-in218)
- [8] [www.mnhn.fr/fr/quand-la-nature-nous-inspire](http://www.mnhn.fr/fr/quand-la-nature-nous-inspire)
- [9] E. Graeff *et al.*, Biomimetics from practical feedback to an interdisciplinary process, *Res. Eng. Des.* **2021**, 32, p. 349-375.
- [10] <https://ceebios.com/formations-enseignement>
- [11] J.M. Benuys, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, Harper Collins, **1997**.
- [12] Demopoulou *et al.*, *arXiv:2103.09616*; Pic *et al.*, *arXiv:2203.09981*.
- [13] M. Marguet, C. Bonduelle, S. Lecommandoux, Multicompartmentalized polymeric systems: towards biomimetic cellular structure and function, *Chem. Soc. Rev.*, **2013**, 42, p. 512-529; C. Bonduelle, S. Lecommandoux, Synthetic glycopolypeptides as biomimetic analogues of natural glycoproteins, *Biomacromolecules*, **2013**, 14, p. 2973-83

- [14] A. Chauhan *et al.*, Preventing biofilm formation and associated occlusion by biomimetic glycolaldehyde polymer in central venous catheters, *J. Infect. Dis.*, **2014**, 210, p. 1347-56; Mussard *et al.*, *Angew. Chem.*, **2011**, 123(46), p. 11063-66.
- [15] F. Guittard, T. Darmanin, *Bioinspired Superhydrophobic Surfaces: Advances and Applications with Metallic and Inorganic Materials*, Jenny Stanford Publishing, **2017**.
- [16] A. Le Duigou, M. Castro, Evaluation of force generation mechanisms in natural, passive hydraulic actuators, *Sci. Rep.*, **2016**, 6, 18105; C. De Kergariou *et al.*, The design of 4D-printed hygromorphs: state-of-the-art and future challenges, *Adv. Funct. Mater.*, **2023**, 33, 2210353.
- [17] [www.loreal.com/en/beauty-science-and-technology/beauty-research-and-innovation](http://www.loreal.com/en/beauty-science-and-technology/beauty-research-and-innovation)
- [18] [www.solvay.fr/innovation](http://www.solvay.fr/innovation)
- [19] [www.basf.com](http://www.basf.com)
- [20] Biomim'Book, [www.flickr.com/photos/biomimexpo/albums/72157718879047022](http://www.flickr.com/photos/biomimexpo/albums/72157718879047022)
- [21] <https://gdr-biomim.com>
- [22] <https://biomimexpo.com>
- [23] [www.supbiotech.fr/ecole-ingenieurs-biotechnologies](http://www.supbiotech.fr/ecole-ingenieurs-biotechnologies)
- [24] <https://formation.univ-pau.fr>
- [25] <https://formation-continue.ensci.com/developpement-durable/nature-inspired-design>
- [26] [www.blue-eco-formations.com/formation-biomimetisme](http://www.blue-eco-formations.com/formation-biomimetisme)
- [27] [www.futurs-souhaitables.org/nos-formations](http://www.futurs-souhaitables.org/nos-formations)

**Louise BRELOY,**

Post-doctorante à l'ESPCI Paris-Université PSL.

\* [louise.breloy@gmail.com](mailto:louise.breloy@gmail.com)

**20-24 novembre 2023 – Bordeaux (Talence)**

<https://gfp2023.sciencesconf.org>

Théragnostique  
Biosourcé  
Recyclage  
Rhéologie  
Structure  
Transition Environnement  
Énergie Dynamique  
Intelligence Artificielle & Polymères  
Bioraffinerie & Polymères