

Étude des impacts socio-économiques et environnementaux du biomimétisme en région Hauts-de-France

Rapport – Juillet 2023



VERTIGOLAB
ECONOMIE & ENVIRONNEMENT

Rédacteurs (Vertigo Lab) : Juliette Yeh, Amélie Colle, Jean Christophe Martin

Contributeurs et relecteurs : Delphine Mathou - Ceebios

Juillet 2023

Les rédacteurs souhaitent remercier l'ensemble des intervenants de ce projet ainsi que l'ensemble des personnes et structures ayant accepté de répondre à nos questions et sans qui cette étude n'aurait pas pu aboutir.

Table des matières

I. Introduction et objectifs de l'étude	4
II. Méthodologie	6
III. Le biomimétisme en région Hauts-de-France.....	7
3.1 Diagnostic macro-économique de la région Hauts-de-France.....	7
3.2 Les acteurs du biomimétisme en Hauts-de-France.....	11
3.2.1 Cartographie Ceebios.....	11
3.2.2 Etude de cas.....	12
3.3 Focus sur le secteur de la recherche	21
3.3.2 Intérêt du secteur pour le biomimétisme	23
3.3.3 Des moyens variables alloués à l'approche bio-inspirée en recherche	25
3.3.4 Biomimétisme et formation en Hauts-de-France : état des lieux.....	25
3.3.4 Les freins rencontrés et perspectives d'évolution.....	26
IV. Quel potentiel du biomimétisme pour la région ?	28
<i>Production d'électricité</i>	<i>29</i>
<i>Bâtiment</i>	<i>31</i>
<i>Mobilités</i>	<i>32</i>
<i>Organisation des entreprises</i>	<i>34</i>
V. Conclusion et synthèse	37
VI. Annexes	40
<i>Annexe 1 : Identification des secteurs de spécialisation de la région Hauts-de-France.....</i>	<i>40</i>
<i>Annexe 2 : Multiplicateurs de production</i>	<i>41</i>
<i>Annexe 3 : Tableau de correspondance des nomenclatures</i>	<i>42</i>
<i>Annexe 4 : Présentation de la méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux des activités économiques.....</i>	<i>43</i>
<i>Annexe 5 : Personnes interrogées en entretien et via le questionnaire</i>	<i>45</i>
<i>Annexe 6 : Questionnaire en ligne et trame d'entretiens</i>	<i>46</i>

I. Introduction et objectifs de l'étude

Co-financé dans le cadre du FRATRI (Fonds Régional d'Amplification de la Troisième Révolution Industrielle), le **projet BLOOM** porté par Ceebios a pour **objectif de fédérer les acteurs de la région Hauts-de-France pour expérimenter, démontrer et valider collectivement le potentiel du biomimétisme comme outil au service de la transition écologique et sociétale de la région Hauts-de-France**. En effet, convaincue de l'intérêt du biomimétisme pour le territoire régional, la Région Hauts-de-France, soutenue par l'ADEME, a souhaité examiner le potentiel économique, social, et environnemental du déploiement du biomimétisme. La présente étude a pour objectif de définir le potentiel de développement du biomimétisme en région Hauts-de-France.

Le plan d'action proposé dans le cadre du projet Bloom s'articule autour de 4 axes :

1. Structuration de l'écosystème d'acteurs bio-inspirés en Hauts-de-France ;
2. Montée en compétence des acteurs locaux par de la sensibilisation et de la transmission d'outils et méthodologies ;
3. Aligner les acteurs bio-inspirés vers les enjeux de transitions identifiés en Hauts-de-France ;
4. Lancement et déploiements d'expérimentations concrètes sur le territoire.

Pour répondre à ces 4 axes, deux actions seront mises en place :

1. Diagnostic du potentiel du biomimétisme en Hauts-de-France,
2. Construction et animation d'un écosystème d'innovation bio-inspirée.

Ce rapport participe du diagnostic du potentiel du biomimétisme dans la région. Il vise à évaluer la création de valeur économique et d'emplois, et la réduction des dépendances et impacts environnementaux potentiellement générés par l'intégration d'une démarche en biomimétisme.

Quelques éléments sur le biomimétisme

Le biomimétisme vise à innover de façon efficace (en remplissant les objectifs), efficiente (en limitant les ressources nécessaires pour le faire), et robuste (de sorte à être capable de résister aux perturbations) en s'appuyant sur les 3,8 milliards d'années d'évolution de la nature.

Le biomimétisme et le champ lexical qui y est lié sont définis comme tels par la norme ISO NF 18458 :

- La **bio-inspiration** : approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques.
- La **biomimétique** : 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 **bionique** : discipline technique qui cherche à reproduire, améliorer ou remplacer des fonctions biologiques par leurs équivalents électroniques et/ou mécaniques.

- Le **biomimétisme** : philosophie et approches conceptuelles interdisciplinaires prenant pour modèle la nature afin de relever les défis du développement durable (social, environnemental et économique).

Ce sont ces définitions auxquelles nous faisons référence dans l'ensemble de ce document.

II. Méthodologie

Pour qualifier le potentiel du biomimétisme en Hauts-de-France, nous avons d'abord réalisé un panorama de la région ; quelles sont les politiques régionales qui pourraient avoir un impact sur le développement du biomimétisme en Hauts-de-France ? Quels sont ses secteurs de spécialisation ? Leurs effets d'entraînement sur l'économie régionale ? Ce travail a été réalisé à partir de bibliographie, et de calculs réalisés sur des données INSEE.

Il existe encore peu d'acteurs économiques matures qui commercialisent des produits bio-inspirés dans la région Hauts-de-France. Nous avons étudié le cas de Eel Energy qui développe des hydroliennes biomimétiques, mais vient tout juste d'entrer en phase de commercialisation. Partant de l'hypothèse que ce qui est développé dans les laboratoires aujourd'hui se retrouvera dans les entreprises de demain, nous proposons un focus sur le secteur de la recherche. Pour comprendre la place du biomimétisme dans la recherche en Hauts-de-France, les opportunités et les freins à son développement, nous avons eu recours à de la bibliographie, conduit des entretiens auprès de chercheurs appartenant à différentes structures, et diffusé un questionnaire en ligne¹ afin de recueillir plus largement des retours de chercheurs leur rapport au biomimétisme dans leur pratique de la recherche.

Enfin, nous examinons le potentiel bio-inspiré de réduction des pressions environnementales et des impacts environnementaux de 5 secteurs. Nous avons retenu les secteurs de la mobilité, la production d'énergie et le bâtiment, car il s'agit de secteurs historiques des Hauts de France, présents dans la feuille de route de la rev3. Ces secteurs d'activités font également face à des risques liés à leurs dépendances à l'environnement, mais également à leurs impacts qu'ils sont déjà ou seront prochainement sommés de limiter. Le dernier domaine considéré est l'organisation des entreprises. En effet, les Hauts-de-France accueillent Pochecho, une entreprise pionnière sur la question, et la question de l'organisation concerne toutes les entreprises.

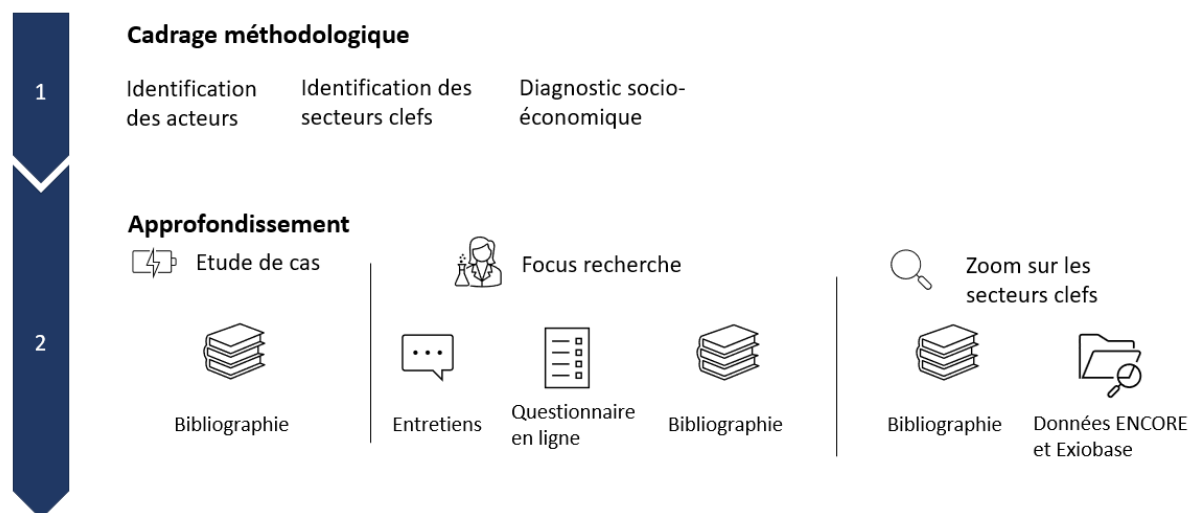


Figure 1 : Méthodologie appliquée dans le cadre de cette étude

¹ Disponible en Annexe 5

III. Le biomimétisme en région Hauts-de-France


3.1 Diagnostic macro-économique de la région Hauts-de-France²

La région Hauts-de-France, des difficultés structurelles difficile à surmonter


Le PIB de la région Hauts-de-France s'élève à 166 348 M€ en 2018, soit une contribution de 7% au PIB français (DOM compris). Parmi les 13 grandes régions de la France métropolitaine, la région Hauts-de-France se positionne ainsi en 5ème position. Cependant, si on raisonne en PIB par habitant, la région Hauts-de-France est en dernière position parmi les 13 régions métropolitaines, avec un PIB par habitant de 27 706 € contre une moyenne nationale de 35 748 €, ou 30 177 € si on enlève la région Ile-de-France dont le PIB très élevé tire artificiellement la moyenne vers le haut.

Le taux de pauvreté en Hauts-de-France est de 18%, au-dessus de la moyenne nationale métropolitaine en comprenant Martinique et Réunion (15,1%). Par rapport aux 13 régions métropolitaines, les Hauts-de-France se positionnent à la 12ème position, juste au-dessus de la Corse (taux de pauvreté de 18,5%). Par ailleurs, toujours en 2018, le taux de chômage était de 11,3%, soit un taux de chômage supérieur à la moyenne nationale (DOM compris) qui était de 9,1%. Parmi les 13 régions métropolitaines, c'est la région Hauts-de-France qui a le taux de chômage le plus important.

LA REGION HAUTS-DE-FRANCE

 **5ème** position des régions françaises contribuant au PIB

12ème position des régions en matière de taux de pauvreté

 **11,3%** taux de chômage, soit le plus important des régions françaises

Une spécialisation économique dans la continuité de l'histoire industrielle de la région

La réalisation d'un diagnostic socio-économique des Hauts-de-France exige de connaître les secteurs pour lesquels la région est spécialisée. Cela permet d'identifier les spécificités de la structure productive régionale, et de repérer les secteurs pour lesquels la région possède un avantage comparatif par rapport à d'autres régions françaises. L'identification de ces secteurs repose sur la construction d'un indicateur appelé **quotient de localisation**. Cet indicateur compare la **contribution d'un secteur sur le PIB régional par rapport à la contribution de ce même secteur au PIB national**. Si la valeur de cet indicateur est sensiblement supérieure à 1 pour un secteur, cela signifie que ce secteur contribue relativement davantage à la création de la richesse économique des Hauts-de-France qu'à celle de la France. On dit alors que la région est spécialisée dans ce secteur.

² INSEE

Le tableau ci-dessous présente les secteurs pour lesquels la valeur des quotients de localisation (SQL) est significativement supérieure à un.

Activité	SQL
CPA_C24 - Produits métallurgiques	2,47
CPA_C23 - Autres produits minéraux non métalliques	2,04
CPA_C20 - Produits chimiques	1,86
CPA_C21 - Produits pharmaceutiques de base et préparations pharmaceutiques	1,75
CPA_C17 - Papier et carton	1,72
CPA_C29 - Véhicules automobiles, remorques et semi-remorques	1,55
CPA_N80-82 - Services de sécurité et d'enquête ; services relatifs aux bâtiments et aménagement paysager ; services administratifs et autres services de soutien aux entreprises	1,55
CPA_H52 - Entreposage et services auxiliaires des transports	1,53
CPA_A01 - Produits de l'agriculture et de la chasse et services annexes	1,53
CPA_C13-15 - Produits de l'industrie textile, articles d'habillement, cuir et articles en cuir	1,52
CPA_A03 - Produits de la pêche et de l'aquaculture ; services de soutien à la pêche	1,50
CPA_Q87_88 - Services d'hébergement médico-social et social ; services d'action sociale sans hébergement	1,44
CPA_E36 - Eau naturelle ; traitement et distribution d'eau	1,43
CPA_C22 - Produits en caoutchouc et en plastique	1,36
CPA_P85 - Services de l'enseignement	1,35
CPA_S96 - Autres services personnels	1,34
CPA_C10-12 - Produits des industries alimentaires, boissons et produits à base de tabac	1,31
CPA_O84 - Services d'administration publique et de défense ; services de sécurité sociale obligatoire	1,27
CPA_Q86 - Services de santé humaine	1,26

Tableau 1 : Quotients de localisation les plus importants des Hauts-de-France³

Aide à la lecture : pour exemple, le secteur de la chimie avec un quotient de 1,86, contribue pratiquement deux fois à l'économie de Hauts-de-France par rapport à l'économie française.

On constate que **la spécialisation économique de la région Hauts-de-France s'inscrit dans la continuité de son histoire industrielle : parmi les secteurs avec le plus gros quotient de localisation, on retrouve principalement des secteurs productifs.**

Un dynamisme variable selon les secteurs d'activités

La variation des quotients de localisation permet de comprendre le dynamisme des secteurs économiques étudiés. Un secteur dont le quotient de localisation augmente se développe davantage dans les Hauts-de-France que dans le reste du pays. Nous avons calculé l'évolution entre les quotients de localisation de 2013 et 2018 et avons représenté les secteurs d'activité en fonction du quotient de localisation 2018 et de l'évolution de ce quotient.

³ Calculs réalisés à partir des données disponibles sur Exiobase pour la France. Le tableau complet est disponible en annexe 1

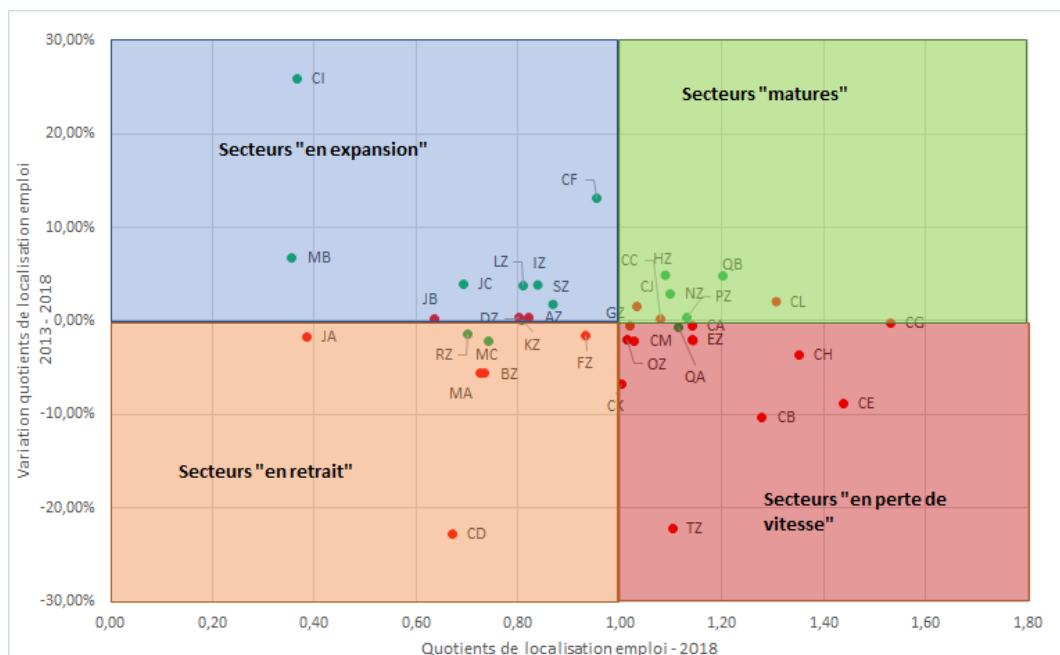


Figure 2 : Matrice représentant le dynamisme des différents secteurs économiques en Hauts-de-France. Les points d'intérêts sont explicités dans le texte. La table de correspondance de tous les signes est disponible en annexe 3

Aide à lecture : le secteur CE (chimie) situé en bas à droite du graphique, fait partie des secteurs dits « en perte de vitesse », caractérisés par un quotient de localisation des emplois supérieur à la moyenne nationale, mais en déclin.

Certains tels que l'industrie chimique (CE), l'industrie du textile (CB), de la métallurgie (CH), sont en perte de vitesse ; c'est-à-dire que la part de l'emploi dans ces secteurs au niveau régional est plus importante qu'au niveau national en 2018, mais que cette part au niveau régional par rapport au niveau national décroît : la spécialisation régionale diminue. En d'autres termes, **il s'agit des secteurs historiques de la région mais qu'elle peine à redynamiser**. Le biomimétisme pourrait jouer un rôle pour accompagner cette redynamisation.

Parmi les secteurs en expansion pouvant bénéficier du biomimétisme et soutenir son développement, on note l'industrie pharmaceutique (CF) : si ce secteur est moins représenté en Hauts-de-France qu'à l'échelle nationale, sa part dans l'emploi croît plus vite que dans le reste du pays. Il pourrait donc s'agir d'un futur secteur de spécialisation de la région. Cette dynamique pourrait se trouver confortée par la volonté de l'Europe de relocaliser une partie de la production de médicaments suite à la crise sanitaire⁴. **Les activités de recherche-développement scientifique sont également en expansion, et comme nous le montrons dans la suite de ce document, le biomimétisme recèle de nombreuses possibilités pour ce domaine.**

Les secteurs de spécialisation de la région sont peu créateurs de valeur sur le territoire

Les secteurs qui ont un fort multiplicateur de production (à savoir les secteurs avec des effets d'entraînement élevés sur les autres secteurs de l'économie régionale) sont généralement ceux qui s'approvisionnent localement et/ou qui consacrent une part importante de la production à la rémunération des salariés qui consommeront une partie de

⁴ Le plan l'action pour la relocalisation des industries de santé en France, 18/06/2020. <https://www.economie.gouv.fr/plan-daction-pour-relocalisation-industries-sante-en-france>

leur revenu dans des biens et services fabriqués localement. Les multiplicateurs de production des secteurs de spécialisation des Hauts-de-France sont faibles car il s'agit majoritairement de secteurs productifs, et l'ensemble des chaînes de valeur liées à ces secteurs ne sont pas locales. Pour augmenter la valeur de ces multiplicateurs, il faudrait relocaliser l'ensemble des activités des filières sur le territoire. Les multiplicateurs de valeur ajoutée et d'emploi de ces secteurs sont également assez faibles, et ce n'est pas surprenant : en haut du classement, on retrouve les services, beaucoup plus intensifs en main d'œuvre⁵.

Le biomimétisme a toute sa place dans la politique régionale des Hauts-de-France



La politique rev3 vise à enclencher une dynamique régionale collective autour de la 3^{ème} révolution industrielle via 5 orientations :

- Favoriser les filières d'avenir stratégiques, innovantes et créatrices de richesses et d'emplois, à travers un ensemble d'actions en direction des filières d'activités existantes et émergentes :
 - o Les filières du mix énergétique (axe 1)
 - o Les filières de la décarbonation (axe 2)
 - o Le bâtiment durable et son efficacité énergétique (axe 3)
 - o La mobilité durable (axe 4)
 - o L'agriculture, les activités de bioéconomie et la filière forêt-bois (axe 5)
 - o L'économie circulaire (axe 6)
- rev3 et les territoires : tous engagés ! à travers l'ancrage territorial mais aussi l'investissement des collectivités territoriales dans la dynamique rev3.
- Promouvoir et accompagner des formations et une recherche-innovation pour rev3, pour permettre de déployer significativement rev3, de nouvelles activités et de nouveaux métiers.
- rev3 – citoyens et initiatives citoyennes : tous mobilisés !, parce que rev3 est l'affaire de tous, y compris la population des Hauts-de-France et la jeunesse.
- rev3 au cœur du fonctionnement de l'institution régionale, grâce à la mise en place de politiques régionales mais aussi en imprégnant rev3 dans l'organisation et le mode de fonctionnement interne à la Région.⁶

D'autres éléments de la politique de la région laissent penser que le biomimétisme sera amené à se développer au cours des prochaines années : les Hauts-de-France ont prévu d'allouer 45 millions d'euros à la création de nouvelles entreprises innovantes et industrielles, et de doubler le nombre de PME et ETI accompagnées sur le thème de l'industrie du futur.⁷

⁵ Tableaux complets disponibles en Annexe 2

⁶ rev3, la feuille de route 2022-2027 pour transformer les Hauts-de-France, juin 2022. Téléchargeable à ce lien : <https://www.hautsdefrance.fr/communique-presse-rev3-feuille-de-route-2022-2027-pour-transformer-les-hauts-de-france/>

⁷ Budget de la Région Hauts-de-France [Budget - Région Hauts-de-France \(hautsdefrance.fr\)](https://www.hautsdefrance.fr/budget)

Le biomimétisme vise à s'inspirer de la nature pour relever les défis du développement durable, et permet, via l'observation des systèmes biologiques, de développer des innovations économes en ressources. Ces innovations peuvent concerner tous les secteurs, des transports à la chimie, en passant par la gestion des organisations ou l'industrie médicale. **Le développement du biomimétisme s'inclut donc pleinement dans la politique régionale rev3.**

Cette dynamique régionale s'inscrit dans une démarche nationale de réindustrialisation du pays qui vise à faire de la France la leader de l'industrie verte en Europe en développant les technologies vertes, et en décarbonant les industries existantes qui représentent 18% des émissions nationales.⁸

3.2 Les acteurs du biomimétisme en Hauts-de-France

3.2.1 Cartographie Ceebios

Ceebios a réalisé une cartographie des acteurs du biomimétisme dans la région Hauts-de-France. Si cette cartographie n'est pas exhaustive, elle compte **plus de 200 acteurs et 120 établissements**, avec des degrés très divers de maturité : si certaines structures intègrent pleinement le biomimétisme, d'autres en sont seulement au stade de la réflexion sur le sujet. 57% des acteurs recensés sont des acteurs académiques, issus de laboratoires de recherche ou de centres techniques, et 25% viennent du monde de l'entreprise. Cette cartographie nous apprend donc que dans les Hauts-de-France, le biomimétisme est principalement exploré par la recherche. Les entreprises se saisissent peu à peu du sujet.

Le Cetim, un acteur au service des entreprises impliqué sur le biomimétisme

Dans le cadre des entretiens réalisés pour cette étude, nous avons rencontré Philippe Lubineau, directeur des programmes du Cetim, le centre technique de la fédération des industries de la mécanique. Le Cetim rassemble 6 500 entreprises mécaniciennes autour de problématiques techniques et les soutient dans la R&D. Le Cetim a noté un intérêt pour le biomimétisme de la part de ses entreprises adhérentes dans la mesure où il peut fournir une solution à leurs problèmes techniques. Le sujet est abordé dans nombres de documents mis à disposition des adhérents, notamment dans les veilles techniques. Si peu de projets mobilisent pour l'instant cette approche, lorsqu'une opportunité faisant appel au biomimétisme est identifiée, les entreprises adhérentes explorent la piste. Une solution biomimétique a déjà été mise au point par le Cetim, mais il n'y a aucune visibilité quant à son développement : il n'est malheureusement pas possible de savoir si elle a été déployée, ni quels ont été les impacts socio-économiques de cet éventuel déploiement. Cependant, l'exemple prouve l'intérêt pour les entreprises de s'intéresser à la démarche dans la mesure où elle peut parfois être la source de solutions concrètes à leurs problématiques opérationnelles. Preuve que le Cetim a bien compris l'opportunité que peut représenter le biomimétisme, notre interlocuteur déclarait lors de l'entretien « Il serait idiot de ne pas s'appuyer sur un retour d'expérience de plusieurs millions d'années »

⁸ Industrie verte, Dossier de presse mai 2023.

https://www.economie.gouv.fr/files/files/2023/DP_presentation_PJL_industrie_verte.pdf

3.2.2 Etude de cas

Dans le cadre de cette étude, nous proposons une étude de cas d'une solution bio-inspirée développée sur le territoire. Nous avons identifié une vingtaine d'entreprises proposant des produits bio-inspirés. Cette sélection a été réduite à partir de critères de maturité, de lien au biomimétisme, de disponibilité des données et de l'entreprise. Ces critères nous ont fait converger vers Eel Energy qui développe des hydroliennes biomimétiques.

Après un faux départ en 2019 et l'abandon de leurs projets d'hydroliennes par Alstom et Naval Energies⁹, le développement des énergies marines semble reprendre, porté notamment par la stratégie européenne pour les énergies marines renouvelables publiée en 2020. L'Europe s'est fixé pour objectif de produire 40 GW en 2050 à partir des énergies océaniques, contre seulement 1GW déployés en 2020¹⁰. **Eel Energy fait partie des acteurs présents sur le marché des énergies marines renouvelables. Son objectif est de participer à la transition énergétique en exploitant une source d'énergie abondante et prédictible de façon propre, fiable, et respectueuse de l'environnement.** Pour ce faire, l'entreprise basée à Boulogne-sur-Mer dans les Hauts-de-France développe des **hydroliennes inspirées de l'ondulation des nageoires des animaux marins**. Nous proposons d'étudier ses impacts socio-économiques et environnementaux et voir quels bénéfices sont permis par le biomimétisme.

N.B. N'ayant malheureusement pas pu rencontrer Eel Energy, la majorité des informations contenues dans cette étude de cas sont issues de communications de la part de l'entreprise, de son site internet, ou d'articles de presse. Nous n'avons pas pu vérifier leur source primaire.

⁹ Hélène Bielik, Pourquoi l'hydrolien prend l'eau en France, pourtant leader mondial du secteur, Socialter, 25 février 2019 <https://www.socialter.fr/article/pourquoi-l-hydrolien-prend-l-eau-en-france-pourtant-leader-mondial-du-secteur-1>

¹⁰ [EUR-Lex - 52020DC0741 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0741)

Eel energy est une start-up créée en 2011 suite au développement par Jean-Baptiste Drevet d'une technologie de couplage entre fluides et membranes ondulantes. L'entreprise conçoit et fabrique des hydroliennes. Encore en tests à la fois en milieu marin et fluvial, ces hydroliennes ont vocation à être déployées à large échelle afin de produire une énergie propre, abondante, et prédictible.



Figure 3 : Hydrolienne Eel en bassin d'essai

Après des tests en bassin d'essai puis mer dans la rade de Brest, 4 hydroliennes vont être testées dans le Rhône entre Caluire et Villeurbanne. L'objectif de ces essais est de valider la fiabilité des hydroliennes en milieu naturel¹¹.

Une technologie plus efficace

Les Eel présentent de nombreux avantages par rapport à des éoliennes offshore ou hydroliennes à hélice :

- Elles ne sont pas soumises à la loi de Betz qui limite les rendements de équipements à hélice,
- Un faible courant suffit à les activer, élargissant la zone potentielle d'installation par rapport à celle des hydroliennes classiques,
- Elles sont beaucoup moins encombrantes que les technologies actuellement déployées.

Les zones avec un potentiel de production intéressant sont donc beaucoup plus vastes que pour les hydroliennes à hélice et les éoliennes en mer. Par ailleurs, les marées, les courants, et le débit des fleuves étant prédictibles, ce qui représente un autre avantage majeur des Eel par rapport à des fermes solaires ou éoliennes.

Eel énergie mentionne par ailleurs sur son site que les zones au-dessus des Eel pourraient potentiellement rester navigables, ce qui permettrait une meilleure cohabitation avec les autres activités maritimes, et notamment le transport. L'acceptabilité sociale pourrait également être supérieure, car le dispositif n'altère pas les paysages.

Des impacts environnementaux moindres ?

Les EEL : Qu'est-ce que c'est ? En quoi est-ce bio-inspiré ?

En tests à la fois en mer et dans des fleuves français, la technologie des hydroliennes Eel **s'inspire des ondulations qui permettent aux poissons de se déplacer**. La membrane de l'hydrolienne est attachée à un socle fixe. En passant, le courant la fait onduler, et l'énergie mécanique ainsi captée est transformée en électricité via un système de générateur.

D'après Eel Energy, les avantages environnementaux de leur solution sont nombreux :

- Pas d'émission de GES ou de production de déchet en fonctionnement,

¹¹ Communiqué de presse. Ferme expérimentale d'hydroliennes dans le Rhône : la technologie biomimétique bientôt testée. 22/05/2023. <https://www.eel-energy.fr/wp-content/uploads/2023/05/Communique-de-presse-22-mai-2023-EEL-VNF.pdf>

- Pas de pollution visuelle ni d'impact sur le littoral,
- Pas de pollution sonore,
- Pas d'agression de la faune,
- Equipement plus compact que d'autres solutions.

Il semble donc que le biomimétisme ait permis le développement d'une solution plus respectueuse de l'environnement.

Une nuance reste cependant à apporter à ce tableau : il semble que les hydroliennes produites par Eel Energy soient construites en fibre de verre¹², un matériau composite qui ne se recycle pas. Il aurait été intéressant de savoir si une ACV a été réalisée afin de comparer le bilan d'un MWh produit par une hydrolienne Eel Energy avec un MWh produit par des hydroliennes classiques, des éoliennes, ou par le mix énergétique français.

Des retombées socio-économiques potentiellement importantes sur les Hauts-de-France

Eel Energy est basée à Boulogne sur Mer, et ses hydroliennes sont fabriquées à Gravelines¹³, dans le Nord. L'entreprise emploie actuellement 8 salariés.

Dans la phase de recherche et développement, Eel Energy a co-encadré deux thèses CIFRE consacrées à la caractérisation des propriétés techniques de l'hydrolienne. Si les tests sont très avancés, l'entreprise vient d'entrer en phase de commercialisation et devrait générer ses premiers revenus grâce à l'injection de l'électricité produite sur le Rhône cette année. Son fonctionnement continue donc de reposer sur de l'investissement. **Depuis sa création en 2011, Eel Energy a ainsi levé 6,975 millions d'euros de fonds privés, se classant ainsi au 11^{ème} rang des entreprises françaises de biomimétisme ayant levé le plus de fonds ces 10 dernières années** ¹⁴. L'entreprise Frisquet est par exemple devenue première actionnaire au capital de Eel Energy¹⁵. L'entreprise bénéficie également de fonds publics à travers un prêt de la BPI de 3,7 millions d'euros, et un soutien FEDER pour la conception l'assemblage et le test d'une hydrolienne de 30kW à hauteur de 950k€. ¹⁶



¹² ConsoGlobe, Eel Energy : une hydrolienne ondulante pour produire de l'électricité, Paul Malo, 09/03/2019. <https://www.consoglobe.com/eel-energy-hydrolienne-ondulante-cg>

¹³ Le Monde, A Lyon, une hydrolienne ondulante comme un poisson est expérimentée dans le lit du Rhône, Richard Schittly, 30/05/2023. https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/05/30/a-lyon-une-hydrolienne-ondulante-comme-un-poisson-est-experimentee-dans-le-lit-du-rhone_6175384_3234.html

¹⁴ Rapport Biomim Invest, NewCorp Conseil, mars 2023

¹⁵ Les Echos, Eel Energy ressuscite l'énergie marémotrice, Pierre Fortin, 15/05/2020.

<https://www.lesechos.fr/weekend/planete/eel-energy-ressuscite-lenergie-maremotrice-1915252>

¹⁶ Site internet Eel Energy, consulté en juin 2023. <https://www.eel-energy.fr/projets/>

Entreprises	Montant cumulé des opérations
1 PROPHESEE	127 000 000 €
2 TISSIUM	121 700 000 €
3 M2I	100 000 000 €
4 CORWAVE	69 800 000 €
5 ENYO	66 700 000 €
6 HEMARINA	38 850 000 €
7 ARYBALLE	21 500 000 €
8 CARBONWORKS	11 000 000 €
9 MYCOPHYTO	8 350 000 €
10 FINX	7 080 000 €
11 EEL ENERGY	6 975 000 €
12 GLOWEE	6 350 000 €
13 ALGOSOURCE	6 300 000 €
14 IMMUNRISE	5 150 000 €
15 BIOMEMORY	5 000 000 €
16 XTREEE	4 000 000 €
17 ELWAVE	3 700 000 €
18 ADV PROPULSE	3 360 000 €
19 YPHEN	2 400 000 €
20 URBAN CANOPEE	1 920 000 €
21 BIOINSPIR	1 600 000 €
22 EXONEO	400 000 €

Figure 4 : Extrait de l'étude NewCorp Conseil "Le marché des levées de fonds de la Biomim DeepTech" - mars 2023

Eel Energy souhaite implanter dans le Rhône une hydrolienne de 30kW et 3 de 50kW. Le coût de chacune des machines est estimé autour des 200 000 €, pour une production d'électricité qui reviendrait à moins de 150 €/MWh. À titre de comparaison, le coût de l'énergie solaire ou éolienne oscille entre 50 et 70 euros / MWh, tandis que celui du nucléaire produit par un EPR coûte environ 100 € / MWh¹⁷. Il est possible que le coût des machines baisse avec les économies d'échelles qui seront réalisées lors du déploiement industriel des hydroliennes, tandis que le coût du nucléaire a tendance à augmenter. Par ailleurs, la production de déchets radioactifs inhérente à l'énergie nucléaire et les coûts environnementaux ou sociétaux liés à l'installation de fermes solaires ou éolienne (artificialisation, acceptabilité sociale, changement d'usage des terres et compétition avec d'autres usages...) contribuent à rendre la solution attractive malgré un coût actuellement supérieur à d'autres modes de production d'énergie.

La décision d'investir dans un projet énergétique ne doit pas se baser uniquement sur les coûts financiers. Ces coûts doivent aussi intégrer le coût des impacts environnementaux sur la société. Ces derniers sont identifiés comme des externalités négatives, dans le sens que les impacts environnementaux générés par la mise en place d'un projet énergétique dégradent le bien-être de la population. Par exemple, les émissions atmosphériques provenant des centrales électriques thermiques peuvent générer des décès précoces ou causer des pathologies respiratoires comme l'asthme. **Ainsi, une partie des coûts financiers supplémentaires provoqués par la mise en place d'un projet de production électrique biomimétique peuvent être en partie ou en totalité compensés par les coûts évités environnementaux.**

Afin de modéliser les impacts socio-économiques (en termes de production, de valeur ajoutée et d'emploi) de la solution proposée par Eel Energy sur le territoire Hauts-de-France, et en l'absence de données précises spécifiques à la solution, nous avons utilisé le modèle JEDI présenté dans l'encadré suivant.

¹⁷ ConsoGlobe, Eel Energy : une hydrolienne ondulante pour produire de l'électricité, Paul Malo, 09/03/2019. <https://www.consoglobe.com/eel-energy-hydrolienne-ondulante-cg>

Présentation du modèle JEDI

Le modèle JEDI (*Jobs and Economic Development Impact Models*) a été développé par le Laboratoire national sur les énergies renouvelables, département de l'Energie des Etats-Unis. Ce modèle consiste à évaluer les retombées socio-économiques (directes, indirectes et induites) des projets de déploiement des énergies renouvelables à l'échelle fédérale (au niveau des Etats américains). Il a été construit à destination des décideurs publiques, des commissions sur les centrales électriques publiques, propriétaires de projets, afin d'avoir une connaissance sur la contribution économique potentielle des projets électriques sur le territoire. Les données du modèle JEDI s'appuient à la fois sur la revue de la littérature et sur des enquêtes auprès des différents experts.

Il est important de préciser que ces chiffres constituent uniquement des ordres de grandeur. Les coûts peuvent en effet fortement varier selon les caractéristiques du projet et les conditions sur le lieu de production. Les impacts ont été simulés à partir des coûts moyens sur la mise en œuvre de projets d'hydroliennes généralement retenus aux Etats-Unis.

Afin d'évaluer les retombées socio-économiques, le modèle distingue trois grands types de coûts :

- **Le coût des équipements** : il regroupe tous les coûts associés à la fabrication des équipements nécessaires à la production électrique. Cela comprend les coûts de construction des hydroliennes marines, des câbles de transmission sous-marine, les équipements nécessaires à la connexion avec le réseau... ;
- **Le coût d'installation** : il regroupe tous les coûts à l'installation des différents équipements sur le site de production (p.ex., amarrage des hydroliennes, installation des câbles sous-marins etc...) ;
- **Le coût d'exploitation et de maintenance** (appelés généralement OPEX) : il regroupe les coûts de main d'œuvre pour l'exploitation, ainsi que les coûts des achats de biens et de services nécessaire pour l'exploitation et la maintenance des hydroliennes (p.ex., coûts de réparation).

Les coûts des équipements et d'installation font partie des coûts d'investissement (appelés CAPEX).

D'après les données du modèle JEDI, les coûts d'investissement des hydroliennes marines seraient de l'ordre de 6 millions d'euros pour chaque MW installé et les coûts d'exploitation et de maintenance autour de 365 mille euros par MW installé.

On suppose que les hydroliennes marines seraient installées au large des côtes de la région Hauts-de-France et qu'elles seraient fabriquées par une entreprise locale.

Il convient de noter que les résultats ci-dessous sont à considérer avec précaution étant donné les biais inhérents au modèle et l'utilisation de données issues du modèle JEDI calibré pour les Etats-Unis pour la région Hauts-de-France, ainsi que des conditions spécifiques associées aux caractéristiques des hydroliennes marines bio-inspirées et des conditions locales de courant au large des côtes de la région Hauts-de-France.

Les impacts estimés sont de deux types :

- **Les impacts directs et indirects** : ils correspondent aux impacts pour les entreprises qui bénéficient directement des dépenses d'investissement et d'exploitation du projet (impacts directs), ainsi que les activités qui sont localisées en amont de la chaîne de valeur (à savoir les impacts pour les fournisseurs des entreprises qui bénéficient

directement des dépenses du projet, ainsi que les fournisseurs des fournisseurs, et ainsi de suite en remontant dans la chaîne des fournisseurs). Les impacts directs et indirects permettent d'apprécier l'impact du projet dans la chaîne de valeur locale.

- **Les impacts induits** : ils correspondent aux impacts générés par la consommation des salariés qui se trouvent soit dans les entreprises qui bénéficient directement des dépenses du projet, soit dans les entreprises qui sont intégrées dans la chaîne des fournisseurs.

La somme des impacts directs, indirects et induits indique la contribution économique totale du projet sur l'économie du territoire Hauts-de-France.

Impacts socio-économiques associés aux dépenses d'investissement

Les résultats présentés sont des impacts qui se déroulent **sur l'ensemble de la durée d'investissement du projet**. Ce ne sont pas des impacts annuels. Les impacts annuels sont plus ou moins forts si les dépenses sont concentrées sur un nombre restreint d'années (une ou deux années) ou si elles sont étalées sur plusieurs années. Par exemple, une dépense d'un million d'euros génère davantage de retombées annuelles si ce montant est dépensé uniquement sur une seule année par rapport à si ce montant est réparti sur une durée de 5 ans (soit une dépense de 200 000 € par an).

Le tableau ci-dessous expose les impacts sur la production (ou chiffre d'affaires) en lien avec les coûts d'équipements et d'installation pour une puissance totale de 1MW.

	Impacts directs et indirects	Impacts induits	Total des impacts
Equipements	4 299 k€	716 k€	5 015 k€
Installation	1 659 k€	305 k€	1 965 k€

Tableau 2 : Impacts socio-économiques en termes de production (ou de chiffre d'affaires) en lien avec les coûts d'équipements et d'installation de 1MW.

Aide à la lecture : pour une installation de 1 MW, l'achat des équipements devrait générer pour l'économie des Hauts-de-France une production de 4,3 M€ pour les impacts directs et indirects et 0,7 M€ pour les impacts induits, soit un total de 5 M€.

Les dépenses associées aux équipements pourraient générer pratiquement 5 M€ de production pour les entreprises Hauts-de-France et les dépenses associées aux installations pourraient générer pratiquement 2 M€ de production. Pour la partie des équipements, 97 % des impacts sont expliqués par la fabrication des hydroliennes marines (soit 4,8 M€). Si la fabrication des hydroliennes marines dure 4 ans, les impacts annuels moyens sur la production seraient donc de $4,8 / 4 = 1,2$ M€. De même, si l'installation dure deux ans, les impacts annuels moyens sur la production associés à l'installation seraient donc de $2 \text{ M€} / 2 = 1$ M€.

En moyenne, un euro dépensé dans la fabrication des équipements générerait 1,07 € de production pour l'économie Hauts-de-France. D'après notre modèle, environ 70 % des dépenses engagées pour la fabrication des équipements seraient destinées à des entreprises localisées en Hauts-de-France dans le cas où les hydroliennes sont fabriquées en Hauts-de-France. Un euro de chiffre d'affaires généré par la fabrication des hydroliennes produites en Hauts-de-France générerait environ 1,51 € de production pour l'économie régionale. Cela fait partie des 50 % des 64 secteurs de l'économie qui ont les effets d'entraînement les plus élevés.

En outre, un euro dépensé dans l'installation des équipements sur le site générerait 1,54 € de production pour l'économie Hauts-de-France.

Le tableau ci-dessous expose impacts socio-économiques en termes de valeur ajoutée (ou de création de richesse économique) en lien avec les coûts d'équipements et d'installation de 1MW.

	Impacts directs et indirects	Impacts induits	Total des impacts
Equipements	1 405 k€	422 k€	1 828 k€
Installation	660 k€	180 k€	840 k€

Tableau 3 : Impacts socio-économiques en termes de valeur ajoutée (ou de création de richesse économique) en lien avec les coûts d'équipements et d'installation de 1MW

Aide à la lecture : pour une installation de 1 MW, l'achat des équipements devrait générer pour l'économie des Hauts-de-France une valeur ajoutée de 1,4 M€ pour les impacts directs et indirects et 0,4 M€ pour les impacts induits, soit un total de 1,8 M€.

Les dépenses associées aux équipements pourraient générer 1,8 M€ de valeur ajoutée pour les entreprises Hauts-de-France, et les dépenses associées aux installations, 0,8 M€. Pour ce qui est des équipements, 97 % des impacts économiques soit 1,8 M€ sont expliqués par la fabrication des hydroliennes. Si la fabrication des hydroliennes dure 4 ans, les impacts annuels moyens sur la valeur ajoutée seraient donc de $1,8 / 4 = 0,45$ M€. De même, si l'installation se déroule sur deux ans, les impacts annuels moyens sur la valeur ajoutée associés à l'installation seraient donc de $0,8 \text{ M€} / 2 = 0,4$ M€.

En moyenne, un euro dépensé dans la fabrication des équipements génèrerait 0,39 € de valeur ajoutée. Un euro de chiffre d'affaires généré par la fabrication des hydroliennes produites en Hauts-de-France génèrerait environ 0,55 € de valeur ajoutée pour l'économie régionale. Cela fait partie des 30 % des 64 secteurs de l'économie qui ont impacts sur la valeur ajoutée les plus faibles. L'impact faible sur la valeur ajoutée s'expliquerait essentiellement par de potentielles fuites de richesse associées à l'importation des matériaux nécessaires à la fabrication des hydroliennes bio-inspirées. Cette fuite de richesse pourrait être réduite par la relocalisation d'une partie de la chaîne de valeur en Hauts-de-France.

En outre, un euro dépensé dans l'installation des équipements sur le site génèrerait 0,66 € de valeur ajoutée pour l'économie Hauts-de-France.

Le tableau ci-dessous expose les impacts socio-économiques en termes d'emplois (exprimées en nombre d'ETP-années¹⁸) en lien avec les coûts d'équipements et d'installation.

	Impacts directs et indirects	Impacts induits	Total des impacts
Equipements	23	4	28
Installation	10	2	11

¹⁸ Le nombre d'ETP-années indique le nombre de personnes qui travaillent à temps-plein sur un nombre d'années. Par exemple, une personne qui travaille à temps-plein sur 2 ans équivaut à 2 ETP-années. De même, deux personnes qui travaillent à temps plein sur une année équivalent à 2 ETP-années.

Tableau 4 : Impacts socio-économiques en termes d'emploi (exprimés en ETP-années) en lien avec les coûts d'équipements et d'installation

Aide à la lecture : pour une installation de 1 MW, l'achat des équipements devrait générer pour le territoire Hauts-de-France en termes d'emploi 23 ETP-années pour les impacts directs et indirects et 4 ETP-années pour les impacts induits, soit un total de 28 ETP-années.

Les dépenses associées aux équipements pourraient soutenir 28 ETP-années en Hauts-de-France et les dépenses associées aux installations pourraient générer 11 ETP-années en Hauts-de-France. Pour la partie des équipements, 98 % des impacts sont expliqués par la fabrication des hydroliennes (soit 27 emplois-années). Si la fabrication des hydroliennes dure sur 4 ans, les impacts annuels moyens sur l'emploi seraient de 6,8 ETP. Autrement dit, une fabrication sur 4 ans de la fabrication d'hydroliennes pour une capacité de 1 MW soutiendrait 6,8 ETP sur cette période dans la région Hauts-de-France. De même, si l'installation dure deux ans, les impacts annuels moyens sur l'emploi associés à l'installation seraient donc de 11 ETP-années / 2 = 5,7 ETP.

En moyenne, un million d'euros dépensés dans la fabrication des équipements génèreraient 5,7 ETP. Un million d'euros de chiffre d'affaires généré par la fabrication des hydroliennes produites en Hauts-de-France soutiendraient 8,3 ETP. Cela fait partie des 50 % des 64 secteurs de l'économie qui ont les impacts sur l'emploi les plus élevés. Un emploi ETP dans la production d'hydrolienne marine pourrait soutenir 0,6 emploi ETP supplémentaire dans le reste de l'économie Hauts-de-France.

En outre, un million d'euros dépensés dans l'installation des équipements sur le site soutiendraient 9,03 ETP pour en Hauts-de-France.

Impacts socio-économiques associés aux dépenses d'exploitation et de maintenance

Le tableau ci-dessous expose impacts socio-économiques moyens annuels en lien avec les coûts d'exploitation et de maintenance.

	Impacts directs et indirects	Impacts induits	Total des impacts
Production	61 k€	59 k€	119 k€
Valeur ajoutée	20 k€	5 k€	25 k€
Emploi	1,4 ETP	0,4 ETP	1,8 ETP

Tableau 5 : impacts socio-économiques annuels moyens en termes de production (ou de chiffre d'affaires), de valeur ajoutée (ou de création de richesse économique) et d'emploi des coûts d'exploitation et de maintenance.

Le nombre d'emplois associé à l'exploitation et à la maintenance directe sur les hydroliennes est estimé à 1,4 ETP. Les dépenses totales associées à l'exploitation et à la maintenance des hydroliennes installées pourraient générer sur le territoire Hauts-de-France une production de 119 k€, une valeur ajoutée de 25 k€, et soutenir 1,8 ETP.

En moyenne, un million d'euros dépensés dans l'exploitation et la maintenance des hydroliennes marines génèreraient pour les entreprises de Hauts-de-France 0,32 M€ de production, 0,14 M€ de valeur ajoutée et soutiendraient 4,8 ETP d'emplois. Les fuites de richesses seraient principalement expliquées par l'achat de biens et services importés nécessaires à la maintenance et à l'exploitation des hydroliennes marines.

Ces résultats montrent clairement que **les impacts socio-économiques les plus importants sont concentrés dans la phase d'investissement, principalement dans la construction des hydroliennes marines et dans l'installation des hydroliennes sur le site. Les impacts seront d'autant plus élevés que la chaîne de valeur est relocalisée dans la région.**

Les hydroliennes Eel Energy présentent un coût important ramené à la puissance installée par rapport à d'autres technologies telles que le solaire et l'éolien par exemple, car il s'agit d'une technologie innovante. Cependant, si les coûts venaient à baisser grâce à des économies d'échelle lors de l'industrialisation par exemple, ou que les considérations environnementales pesaient plus lourd dans la balance pour orienter les politiques énergétiques, un déploiement de ce type technologie de production d'électricité à grande échelle pourrait être envisagé. De plus, un grand avantage des hydroliennes Eel Energy est qu'elles sont capables de produire en continu contrairement aux énergies solaires et éoliennes qui sont intermittentes, et qu'il y a un important potentiel de production en France (10TWh/an selon Eel Energy¹⁹), alors que nous avons épuisé le potentiel d'installation d'énergie hydroélectrique (autre énergie renouvelables pilotable, qui permet d'atténuer les creux de production du solaire et de l'éolien). Cela pourrait entraîner la création d'emplois sur le territoire des Hauts-de-France, surtout à l'étape de production des hydroliennes.

¹⁹ Eel Energy <https://www.eel-energy.fr/>

3.3 Focus sur le secteur de la recherche

Les acteurs économiques qui développent des produits bio-inspirés sont encore peu matures et ne commercialisent pas leur solution à une échelle industrielle, à l'image de Eel Energy. Partant du principe que **les projets développés dans les laboratoires aujourd'hui seront les solutions commerciales de demain**, nous avons réalisé un focus sur le domaine de la recherche afin d'étudier le potentiel de développement du biomimétisme en Hauts-de-France pour les années à venir.

« Nous sommes encore en phase de semer les graines »

- Acteur du territoire



En 2020, la France comptait 441 000 chercheurs, soit 1,17% de sa population, ce qui la place au 10^{ème} rang mondial. Cette même année, elle a consacré 2,3% de son PIB à la recherche et développement. C'est en dessous du seuil de 3% fixé par l'Union Européenne ; cependant, si l'on considère la dépense nationale de recherche et développement expérimental, qui comptabilise les fonds affectés à des travaux de recherche effectués sur le territoire national, et ce quels que soit leur origine (géographique, ou public / privé) la France se classe au 5^{ème} rang des pays de l'OCDE, ce qui reflète une forte dynamique du secteur de la recherche en France. 20% de ces dépenses sont réalisées par des PME, et 55% par les grandes entreprises.²⁰

LA RECHERCHE EN FRANCE



5^{ème} rang des pays de l'OCDE investissant le plus en R&D



55% des dépenses réalisées par les grandes entreprises et **20%** par les PME



441k emplois ETP (Equivalents Temps Plein)

Avec un quotient de localisation de 0,16, **l'économie de la région des Hauts-de-France est très peu spécialisée dans le domaine de la recherche**. Au 1^{er} janvier 2020, les Hauts-de-France représentaient 9% de la population métropolitaine²¹, et 9% des effectifs nationaux d'étudiants. Cependant, elle ne compte que pour 4,8% des inscriptions en doctorats, 4,1% des demandes de brevets déposées en France et 4,9% des publications nationales. Tout cela reflète **des dépenses fléchées vers la recherche et l'innovation qui sont deux fois moins importantes en Hauts-de-France que dans le reste du pays**, même si on note que la région rattrape son retard ces dernières années avec des dépenses qui ont progressé de 55% entre 2007 et 2017. Il y a donc un potentiel pour le développement du secteur de la recherche en Hauts-de-France.²²

Par ailleurs, **la recherche et développement peut générer de forts effets d'entraînement sur l'économie régionale**. En effet, ce secteur se situe en **4^{ème} position** sur les 64 secteurs de l'économie régionale concernant les multiplicateurs de production. Un euro de production dans la R&D en Hauts-de-France génère 1,77 € de production dans l'ensemble de l'économie régionale. De plus, un euro de production contribue d'une manière importante à la création

²⁰ Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, Etat de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, publié le 15/06/2023 <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/l-etat-de-l-enseignement-superieur-de-la-recherche-et-de-l-innovation-en-france-90566>

²¹ INSEE Analyses Hauts-de-France n°146, 29/12/2022. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6682125>

²² Projet de cadre stratégique du schéma régional de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation. Téléchargeable à ce lien : <https://www.hautsdefrance.fr/sresri2/>

de richesse économique. Ce secteur se classe en 11^{ème} position sur les 64 secteurs de l'économie régionale en termes de création de valeur ajoutée. Un euro de production dans la R&D génère ainsi 0,94 € de valeur ajoutée.

LA RECHERCHE EN HAUTS-DE-FRANCE


2 fois moins de dépenses vers la R&D en Hdf qu'en moyenne en France, mais en progression de **55%** en 10 ans


4^{ème} position des secteurs (sur 64) ayant le plus fort effet d'entraînement sur l'économie territoriale


11^{ème} position des secteurs contribuant le plus au PIB du territoire

Le biomimétisme est mobilisé de différentes manières par une grande variété de domaines scientifiques. **Les plus représentés sont la chimie et la mécanique, avec des applications en médecine, en robotique, et pour le développement de nouveaux matériaux.** On retrouve également l'électronique, et même l'économie²³. La région Hauts-de-France accueille des acteurs clefs du biomimétisme, à commencer par Ceebios qui travaille au déploiement du biomimétisme en France. Les Hauts-de-France comptent également des établissements phares dans le domaine du biomimétisme comme l'Université de Lille dont de nombreux laboratoires ont adopté la démarche, l'UTC qui en plus des nombreux projets de recherche lancés sur le sujet joue également un rôle sur le plan de la formation, ou l'Université Picardie Jules Verne qui explore la piste de la chimie bio-inspirée.²⁴

La recherche bio-inspirée en Hauts-de-France : un domaine dynamique

Le nombre de brevets déposés ou de publications écrites ne sont pas forcément de bons indicateurs de la maturité d'un domaine de recherche, et plus particulièrement pour le cas de la recherche biomimétique pour laquelle les projets ont souvent vocation à être développés par des entreprises après leur mise au point en laboratoire. Pour conserver ce potentiel de développement et de commercialisation, plus les projets ont un Technology Readiness Level (TRL) élevé, moins les chercheurs qui les développent publient dessus. Ainsi les publications qui contiennent le mot clef biomimétisme sont plutôt en lien avec des projets de recherche amont, ou fondamentale, et ne reflètent pas le degré d'avancement des projets communiqués. Par ailleurs, la meilleure façon de garder son avancée étant parfois de ne rien dire, certaines entreprises ne publient pas de brevet avant d'être quasiment à l'étape de commercialisation de leur produit.

Ainsi, **plus que le nombre de publications ou de brevets, les moyens mobilisés qu'ils soient financiers ou humains peuvent donner une meilleure idée de l'avancée réelle des sujets de biomimétisme dans les laboratoires.** En effet, en fonction des structures de recherche, les moyens alloués au biomimétisme varient fortement notamment en fonction de la raison pour laquelle le sujet est traité, notamment si le sujet est poussé par un chercheur par intérêt personnel, ou s'il s'agit d'un axe stratégique de la structure.

Les moyens financiers mobilisés sont aussi intrinsèquement liés au domaine de recherche : un projet nécessitant l'emploi d'enzymes, de culture de cellules, ou d'autres matériaux ou

²³ D'après les répondants aux questionnaires et un scan de la littérature scientifique sur le biomimétisme réalisé en avril 2023.

²⁴ [Biomimétisme en France, un état des lieux, juillet 2018, Ceebios](#) p.17

procédés particulièrement coûteux allouera forcément davantage de moyens aux consommables qu'un projet ne nécessitant pas de travailler avec du vivant. Cet argent provient principalement d'appels à projets, mais certains laboratoires peinent à accéder à ces ressources et mènent les recherches sur leurs fonds propres.

Plusieurs projets avec des TRL relativement élevés ont été évoqués par des chercheurs de différents établissements, dont certains sont en cours de discussion avec des entreprises, preuve que la recherche bio-inspirée en Hauts-de-France est dynamique.

La recherche privée dans le domaine du biomimétisme semble également prometteuse. Des start-ups se sont emparées du sujet et jouent un grand rôle dans la recherche et développement du biomimétisme pour des applications concrètes. Ces entreprises ont ainsi levé plus de 600 millions d'euros au cours des 10 dernières années. Parmi les 15 start-ups ayant levé plus de 5 millions d'euros on en trouve deux basées en Hauts de France : Tissium (121,7 millions d'euros levés), qui développe des adhésifs médicaux inspirés de mollusques ; et Eel Energy (6,975 millions d'euros levés), spécialisée dans la fabrication d'hydroliennes inspirées des nageoires des poissons.²⁵

3.3.2 Intérêt du secteur pour le biomimétisme

« Cela [le biomimétisme] redonne du sens à ce que je fais en recherche » - Acteur académique du territoire ”

Au cours des entretiens réalisés, nous avons identifié quatre approches du biomimétisme en recherche, résumées dans la figure ci-dessous.

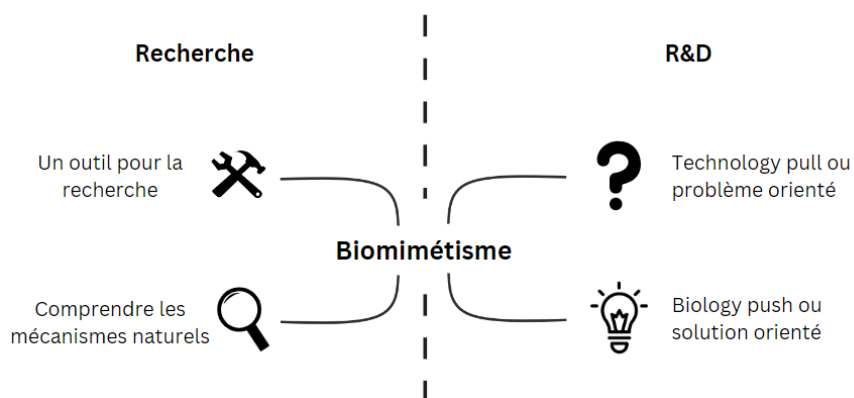


Figure 5 : Les différents cas d'utilisation du biomimétisme en recherche

Le biomimétisme est pour certains secteurs de recherche un outil précieux pour conduire des expérimentations. Il ne s'agit alors pas de faire de la recherche sur le biomimétisme en lui-même mais d'utiliser des outils bio-inspirés pour étudier des phénomènes, tester des

²⁵ Biomim invest 1^{er} rapport, 03/2023

médicaments, etc. Cette approche est particulièrement présente dans le domaine de la recherche biomédicale, ou en biologie cellulaire et moléculaire. Les chercheurs et chercheuses utilisent des tissus, des protéines, ou d'autres objets biomimétiques afin de conduire leurs expérimentations. Ce sont des outils de travail, mais l'objectif de leur recherche n'est pas de développer une solution bio-inspirée. Le biomimétisme permet ici d'imiter le vivant afin de mener des expérimentations.

Certains projets de recherche visent à comprendre et mimer les mécanismes naturels sans forcément avoir d'application prévues pour la suite, il s'agit d'une approche plus fondamentale du biomimétisme. Ainsi, un des projets de recherche menés à l'ENSAIT a pour objectif de comprendre comment les arbres pompent l'eau dans le sol et la font remonter²⁶.

Pour ce qui est de la recherche appliquée, on peut différencier deux approches formalisées par Pierre-Emmanuel Fayemi²⁷. Dans le cadre d'une approche « biology push », ou solution orientée, l'innovation est induite par un mécanisme biologique identifié et que l'on cherche à reproduire pour une utilisation particulière. C'est souvent le cas dans la conception de prothèses ou d'autres dispositifs médicaux pour lesquels les chercheurs et chercheuses tentent de reproduire les propriétés naturelles des tissus biologiques afin d'améliorer l'acceptation par le corps, ou les propriétés mécaniques de prothèses par exemple. Les innovations peuvent également être « technology pull », ou « problème orientées », c'est-à-dire qu'à partir d'un problème industriel, on utilise la nature comme source d'inspiration pour identifier une solution et reproduire le mécanisme naturel. C'est l'approche dont les industriels sont les plus familiers. Le biomimétisme n'est pas intéressant en soi, mais s'il peut permettre d'utiliser la nature comme source d'inspiration pour répondre à un problème, alors il peut être mobilisé. On peut par exemple mentionner le développement d'une surface nécessitant moins d'eau pour être nettoyée développée à destination de l'industrie agroalimentaire.

Les effets du biomimétisme sur l'environnement

Le biomimétisme vise à s'inspirer de la nature pour permettre un développement durable des sociétés humaines. Ainsi, il est intrinsèquement lié aux enjeux environnementaux qui constituent l'un des trois piliers du développement durable. Si cette approche n'a a priori pas d'effet sur l'impact environnemental des activités de recherche en elles-mêmes, elle permet de développer des solutions plus vertueuses. En effet, les mécanismes naturels sont souvent plus efficaces et plus économes en ressources et en énergie que les solutions développées par les humains.

« Si on fait correctement du biomimétisme, on va dans le sens de réduire l'impact sur le vivant » - Acteur académique du territoire



²⁶ Entretien mené auprès de Philippe Vroman le 27 avril 2023.

²⁷ Pierre-Emmanuel Fayemi. Innovation par la conception bio-inspirée : proposition d'un modèle structurant les méthodes biomimétiques et formalisation d'un outil de transfert de connaissances. Génie mécanique. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2016.

3.3.3 Des moyens variables alloués à l'approche bio-inspirée en recherche

Les moyens alloués à la recherche en biomimétisme varient grandement en fonction des institutions auxquels les chercheurs sont rattachés. Pour 5 des 8 répondants ayant déjà expérimenté le biomimétisme dans le cadre de leurs recherches, il s'agissait d'une initiative de leur structure tandis que les 3 autres ont initié le sujet eux-mêmes. Le temps qu'ils accordent à ces questions est également variable (de moins de 10% à 100% de leur temps de travail), de même que les financements qu'ils reçoivent pour des projets liés au biomimétisme (de 0 à 500k€).

Ces disparités de financements se retrouvent également dans les moyens humains que les projets bio-inspirés sont capables de mobiliser : plus les financements sont importants, plus on retrouve des doctorants et post doctorants qui y travaillent. En effet, une part importante des fonds consacrés au biomimétisme permet la rémunération des chercheurs et chercheuses. Cela varie de 30 à 90% en fonction des projets, dont certains nécessitent un gros poste de dépenses pour les consommables, faisant baisser la part consacrée aux salaires.

3.3.4 Biomimétisme et formation en Hauts-de-France : état des lieux

L'offre de formation sur le biomimétisme s'étoffe peu à peu et de plus en plus de cursus proposent des Unité d'Enseignement (UE) sur le sujet. En région Hauts-de-France, on peut par exemple noter le master en biotechnologies – technologies interdisciplinaires pour le vivant proposé par l'université de Lille²⁸, qui aborde le biomimétisme, même s'il ne le met pas en avant sur sa plaquette²⁹ ; et l'Université Technologique de Compiègne (UTC) qui propose depuis 2017 UE sur le sujet.

L'exemple de l'UTC

Une offre de formation limitée

Il y a une forte demande de la part des étudiants de l'UTC pour aborder le biomimétisme au cours de leur formation³⁰. A l'UTC, seulement 48 à 75 étudiants bénéficient chaque année de la seule UE proposée sur le sujet. Cela s'explique notamment par la difficulté à proposer des enseignements interdisciplinaires. Un professeur que nous avons interviewé a essayé de mettre en place une UE transversale ouverte à tous les étudiants de l'université, quels que soient leur année et leur domaine d'étude afin de pouvoir rassembler des étudiants de cursus différents, mais il s'est heurté à des contraintes administratives : la mise en place d'enseignements transversaux à l'UTC implique que le sujet soit étudié avec le prisme des sciences humaines. Si l'approche est sans aucun doute très intéressante, l'objectif du cours restait de former des groupes d'ingénieurs afin qu'ils répondent à une problématique technique ou industrielle. L'UE ne s'est donc pas ouverte. Des projets d'inter-semestres de 2 à 3 semaines permettent à des étudiants de tous niveaux et de toutes disciplines de se familiariser avec le sujet, mais cette proposition pédagogique reste limitée du fait de la durée des projets.

²⁸ [Faire un master dans le cadre du Graduate Programme - Relations internationales \(univ-lille.fr\)](https://univ-lille.fr)

²⁹ [Plaquette du master Biotechnologies, mention life sciences and technologies](#), Université de Lille. Consulté en mai 2023.

³⁰ Entretien mené auprès d'un professeur de l'UTC.

Le fort cloisonnement entre les différents cursus et les contraintes administrative, propres au système universitaire français, semblent donc être des freins pour la diffusion du biomimétisme dans les formations, en raison de l'approche interdisciplinaire inhérente au biomimétisme.

Un dialogue difficile entre les universités / écoles et les industries

L'UE proposée par l'UTC est une UE de projet au cours de laquelle des étudiants travaillent sur une problématique technique. Elle a été pensée pour permettre aux entreprises de proposer leurs sujets, mais depuis le lancement de cette UE en 2017, aucun industriel ne s'est manifesté et les sujets sont uniquement proposés par les professeurs. Pourtant, proposer un projet représente l'opportunité de bénéficier du travail d'étudiants encadrés par un professeur sur 6 mois, et d'une partie du fruit de leur travail, avec bien entendu des enjeux de propriété intellectuelle à discuter en amont. Les étudiants ingénieurs terminent parfois l'UE biomimétisme avec des projets très aboutis : des prototypes fonctionnels, ou des rapports clefs en mains qui pourraient permettre à une entreprise de développer la solution avec un investissement R&D faible au regard de la technologie proposée.

A défaut de réussir à mobiliser des entreprises pour développer leurs solutions, les étudiants pourraient se lancer dans l'entrepreneuriat et développer eux même leur solution commercialement. Cependant, l'UTC étant une école d'ingénieur, les étudiants n'ont pas nécessairement les bonnes compétences, ni un profil d'entrepreneur, et aucun ne s'est encore lancé.

Si du côté universitaire le biomimétisme peut avoir un intérêt méthodologique en soi, ce n'est pas ce qui préoccupe les industriels : eux souhaitent répondre à leurs problèmes techniques : si le biomimétisme peut leur permettre de le faire, c'est une approche à considérer, mais ce n'est pas forcément un sujet qu'ils cherchent à pousser à tout prix. Pour reconnecter les écoles et l'industrie, l'enjeu pour les enseignants chercheurs est de présenter le biomimétisme comme un outil pour répondre à un problème, et non comme une approche scientifique à appliquer sur des cas d'entreprises.

3.3.4 Les freins rencontrés et perspectives d'évolution

Sur les 8 chercheurs et chercheuses s'étant exprimés sur la question, 7 pensent mobiliser du biomimétisme dans leur recherche au cours des années à venir. Il est intéressant de noter que parmi elle, les 5 ayant déjà utilisé une approche biomimétique souhaitent continuer à le faire, et sur les 3 qui ne l'ont jamais testé, 2 ont l'intention de le faire. Si cela démontre un intérêt certain pour l'approche, des obstacles demeurent pour démocratiser le biomimétisme.

Le biomimétisme pourrait largement bénéficier du décroisement de la recherche, et du milieu universitaire en général. D'une part, cela permettrait d'aborder plus facilement le sujet dès les cursus universitaires, et les chercheurs ainsi formés seraient plus acculturés au concept de biomimétisme, en comprendraient mieux les opportunités et pousseraient peut-être davantage dans cette direction. D'autre part, au sein des laboratoires, il est parfois compliqué de mener des travaux de recherche à l'interface de plusieurs domaines, ce que le biomimétisme amène régulièrement à faire. L'interdisciplinarité est encore peu valorisée également du côté des appels à projets. Trop souvent disciplinaires, ils ne permettent pas à des projets biomimétiques de candidater.

Parmi les freins évoqués par les chercheurs et chercheuses sondés, on retrouve notamment le manque de connaissance en biologie, et une incompréhension de ce que peut apporter le biomimétisme à leur domaine de recherche. Ces freins pourraient être levés en proposant des unités d'enseignement sur le biomimétisme dans les formations, et ce dans toutes les disciplines.

Un autre frein à l'accès aux financements réside dans les thématiques imposées dans les projets axés sur le biomimétisme. Ils sont encore très fléchés sur les sujets énergie, architecture, ou organisation des structures. Cela exclut de facto tous les projets de recherche qui portent sur d'autres thématiques, qui se tournent donc vers d'autres guichets de financement, pas forcément dédiés au biomimétisme. Un levier pour encourager la recherche à se saisir de cette méthode serait d'élargir ou diversifier les thématiques des appels à projets centrés sur le biomimétisme afin de permettre à une plus grande variété de projets de candidater et ainsi de se faire financer.

Certains chercheurs regrettent également un manque de connaissance en écologie et en biologie qui limite les opportunités de recourir au biomimétisme. D'autres n'identifient pas l'intérêt du biomimétisme pour leur domaine de recherche. Pourtant, le biomimétisme est une approche qui peut s'appliquer à tous les champs disciplinaires. Ce constat est peut-être une conséquence du faible nombre de formations qui abordent la question du biomimétisme en France. Introduire le biomimétisme dans des UE au cours de la formation initiale des chercheurs, ou proposer des modules de formation continue sur le sujet pourrait permettre de lever ce frein.

Le monde de l'industrie est conscient de l'intérêt que représente le biomimétisme, un des acteurs interrogés nous a affirmé qu'« *il serait idiot de ne pas profiter des 3,8 milliards d'années de R&D et retours d'expériences de la vie sur Terre* ». Cependant, le biomimétisme conduit souvent à des innovations de rupture qui sont plus risquées et plus coûteuses à mettre en œuvre pour un industriel. Cela peut représenter un frein au déploiement de solutions bio-inspirées. Par ailleurs ces solutions ne sont parfois peu voire pas explorées en raison du manque de dialogue entre l'industrie, la recherche et le milieu universitaire. L'organisation de davantage de forums, conférences ou hackathons autour du biomimétisme pourrait participer à lever cette barrière et favoriser l'innovation biomimétique.

« *Il serait idiot de ne pas profiter des 3,8 milliards d'année de R&D et retours d'expérience de la vie sur Terre* » - Acteur du territoire



IV. Quel potentiel du biomimétisme pour la région ?

Penchons-nous maintenant sur le potentiel environnemental du biomimétisme. Le biomimétisme présente une relation particulière à la nature car il en fait sa source d'inspiration dans l'objectif de réduire les impacts des activités humaines sur l'environnement. La démarche est donc fortement dépendante de la nature en tant que réservoir pour des innovations futures, mais participe plutôt à réduire les impacts environnementaux des activités économiques.

Nous avons cherché dans la partie ci-dessous à mettre en évidence ces dépendances et impacts pour certains secteurs clés du territoire afin de questionner le rôle potentiel du biomimétisme. Pour ces secteurs d'intérêt, nous pouvons déterminer à partir de l'outil ENCORE et de la base de données Exiobase les matrices de matérialité et définir ainsi les principales dépendances et impacts de ces secteurs à l'environnement. A partir d'un travail de bibliographie et de l'expertise Ceebios, nous proposons d'estimer pour chaque secteur si le biomimétisme pourrait être une solution pour réduire à la fois les dépendances et les impacts de ces secteurs sur l'environnement, réduisant ainsi le risque économique social et environnemental associé à ces activités.

Nous souhaitons souligner que le développement du biomimétisme ne doit pas s'inscrire dans un paradigme de croissance verte, ni être vu comme un techno-solutionnisme qui permettrait de continuer sur un modèle business *as usual* tout en limitant nos pressions sur l'environnement. **Le biomimétisme n'est pas une solution miracle, mais un outil qui, utilisé en cohérence avec d'autres, pourra contribuer au maintien d'un niveau de vie minimum tout en respectant les limites planétaires.**

Pour sélectionner les secteurs d'intérêt, nous avons croisé les secteurs identifiés comme stratégiques dans la politique rev3 de la région et les particularités des Hauts-de-France. Nous avons gardé les secteurs en expansion et qui sont poussés par les politiques publiques : ces secteurs seront probablement amenés à tenir une place de plus en plus importante dans l'économie des Hauts-de-France. Il est donc intéressant d'interroger leurs dépendances et leurs impacts sur l'environnement.

Le biomimétisme permet des innovations que l'on peut appliquer à différents domaines industriels, dont nos domaines d'intérêts

Quel que soit le domaine d'application, le biomimétisme permet de réduire les impacts environnementaux de différentes activités. Ainsi, la forme d'objets est inspirée du vivant pour améliorer l'aérodynamisme, permettant ainsi aux moyens de transports de consommer moins de carburant ou d'aller plus vite, aux éoliennes de se mettre en marche avec un vent de moindre intensité... Une autre approche courante est le développement de matériaux qui permettent d'améliorer les propriétés de surface (peinture anti fouling, matériaux résistants à l'oxydation ou à l'abrasion, limitation des frottements...) qui permettent de faire durer dans le temps les objets mais également de limiter l'énergie nécessaire à leur utilisation. Enfin, on voit également beaucoup de réflexions autour des structures pour minimiser la quantité de matériau utilisée, et rendre ainsi les structures plus

légères tout en gardant voire augmentant leur résistance, en limitant les besoins d’approvisionnement en matière première.

Production d’électricité

Du fait de la forte implantation de secteurs industriels très consommateurs (métallurgie, industrie du verre, chimie et agroalimentaire), la région Hauts-de-France est la plus grande consommatrice d’énergie du pays³¹. Le montant de la valeur ajoutée du secteur production électrique (code NAF 35) est estimé à 2 000 millions d’euros (soit une contribution de 1,3 % au PIB régional). Ce secteur emploie 11 500 emplois ETP (soit 0,6 % des emplois des Hauts-de-France). C’est un secteur qui contribue relativement peu à l’économie régionale, car le quotient de localisation est bien en-dessous de 1 (à savoir 0,77).

En moyenne, un million d’euros de production dans la production électrique en Hauts-de-France génèrent 1,5 M€ de production, 0,5 M€ de valeur ajoutée et soutiennent 3,5 emplois en ETP. Ce secteur fait partie des 50 % des 64 secteurs qui ont le faible multiplicateur de production, 20 % des 64 secteurs qui ont le plus faible multiplicateur de valeur ajoutée et 10 % des secteurs qui ont le faible multiplicateur d’emploi. Ces faibles multiplicateurs s’expliquent par l’importation de combustibles et de biens et services pour la production électrique, et par le caractère fortement capitalistique des centrales électrique.

La région produit également une quantité importante d’électricité principalement nucléaire (centrales de Gravelines et de Jeumont), et le solaire et l’éolien se développent fortement. En 2021, la puissance solaire installée a augmenté de 80%, et celle de l’éolien de 6%. Des usines thermiques fossiles (gaz et charbon) produisent encore 18.3% de l’électricité produite en Hauts-de-France mais cette part décroît (- 20% depuis 2017)³². La part d’énergie fossile est également due à l’utilisation importante de houille dans l’industrie métallurgique³³.

	Fibres et autres matériaux	Eaux souterraines	Eaux de surface	Maintien du débit	Qualité de l'eau	Biorémediation	Filtration	Régulation du climat	Protection des tempêtes et des inondations	Stabilisation des sols et contrôle de l'érosion
Biomasse	VH	M	M	M	L	VL	VL	VL	M	L
Géothermie		VH	M	M	L	VL	VL	VL	M	L
Hydraulique		M	VH	VH	L	VL	VL	VH	H	H
Solaire		VL	VL					VH	M	M
Eolien								VH	M	M
Centrales thermiques et nucléaires		M	VH	M	L	VL	L	VL	M	L

Tableau 6 : Dépendances environnementales du secteur de la production d’électricité (Source : auteurs à partir de ENCORE)

Les principales dépendances du secteur de la production d’énergie sont liées à l’approvisionnement en eau, qui permet à la fois la production d’hydroélectricité, la croissance de biomasse brûlée pour obtenir de l’énergie thermique, et le refroidissement des centrales nucléaires du pays. On note aussi une forte dépendance au service de régulation du climat

³¹ Insee Analyses Hauts-de-France n°149. L’industrie des Hauts-de-France fortement dépendante de l’électricité et du gaz, Noémie Grandperrin, Benoît Riem (Insee), 09/02/2023 <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6797463>

³² Bilan électrique 2021 en Hauts-de-France : une consommation d’électricité qui retrouve son niveau d’avant crise. 13/08/2322. <https://www.rte-france.com/actualites/bilan-electrique-2021-hauts-france-consommation-electricite-retrouve-niveau-avant-crise>

³³ Insee Analyses Hauts-de-France n°149. L’industrie des Hauts-de-France fortement dépendante de l’électricité et du gaz, Noémie Grandperrin, Benoît Riem (Insee), 09/02/2023 <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6797463>

pour les énergies hydraulique, éolienne et solaire dont le potentiel dépend des conditions climatiques locales. Le développement de solutions telles que les hydroliennes de Eel Energy pourrait participer à limiter ces dépendances pour une partie du mix électrique français pour ce qui est de la récupération de l'énergie des marées, mais des hydroliennes déployées dans des fleuves seraient soumises aux mêmes risques ; et pour le déploiement en mer, de grands courants océaniques sont également en train d'être affectés par le changement climatique. Cependant, pour ce qui est des impacts environnementaux, le biomimétisme peut permettre de les réduire en augmentant l'efficacité des systèmes de production d'énergie tout en réduisant les impacts de cette production sur les écosystèmes (cf. étude de cas Eel Energy).

Le tableau ci-dessous expose le niveau des impacts environnementaux (associés à chaque euro de chiffre d'affaires) pour le secteur de la production électrique. La méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux est décrite dans l'annexe 4 du présent rapport.

Tableau 7 : Impacts environnementaux associés au secteur de la production électrique (Source : auteurs à partir de données Exiobase)

	Emissions de gaz à effet de serre	Emissions atmosphériques			Consommation et prélèvement eau		
		PM2,5	NOx	SO ₂ eq	Consommation eau verte	Consommation eau bleue	Prélèvement eau bleue
Biomasse	M	L	L	L	M	M	VH
Géothermie	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
Hydraulique	VL	L	VL	LV	L	L	M
Solaire	L	M	M	L	L	L	L
Eolien	M	L	VL	L	L	L	M
Centrales thermiques	VH	VH	VH	VH	M	M	VH
Centrales nucléaires	L	L	VL	L	L	M	M

Sans surprise, ce sont les centrales thermiques qui génèrent les impacts les plus élevés, principalement pour les émissions de gaz à effet de serre, les émissions atmosphériques et le prélèvement de l'eau bleue³⁴. Bien que les énergies renouvelables soient plus vertueuses, elles peuvent générer des impacts environnementaux non négligeables. C'est le cas par exemple de la production électrique à partir de la biomasse. Cette production génère des impacts élevés sur le prélèvement d'eau bleue qui peuvent s'expliquer par le faible rendement de ces centrales électriques : elles exigent une consommation élevée de biomasse pour produire 1 MWh.

Le développement des hydroliennes marines bio-inspirées pourrait contribuer à réduire fortement ces impacts par rapport aux centrales thermiques et certaines centrales mobilisant des énergies renouvelables. Lors de la production électrique, les hydroliennes ne consomment ni eau ni ressources naturelles (comme les énergies fossiles ou la biomasse) car elles s'appuient sur l'énergie procurée par le courant marin. Les impacts potentiels pourraient être focalisés dans la construction des hydroliennes. La philosophie du biomimétisme est d'optimiser l'utilisation des ressources pour minimiser les impacts environnementaux. On

³⁴ Les prélèvements d'eau bleue sont définis comme l'extraction d'eau souterraine ou de surface, de manière permanente ou temporaire, pour les besoins des activités humaines et dont une partie est restituée aux milieux aquatiques.

devrait donc s'attendre à des besoins en ressources naturelles plus faibles, avec des impacts environnementaux associés moins élevés.

Bâtiment

Les secteurs de la construction (code NAF 41-43) et des matériaux de construction (code NAF 23) réalisent une valeur ajoutée de 9 620, soit une contribution de 6,5 % au PIB régional. Le secteur du bâtiment emploie 105 000 personnes dans la région Hauts-de-France³⁵. La région est fortement spécialisée dans la construction des matériaux de construction, avec un quotient de localisation de 2. Cela signifie que ce secteur contribue d'une manière deux fois plus importante au PIB de la région par rapport au PIB de la nation. Cependant, la contribution du secteur de la construction des bâtiments est à peu près identiques pour la région Hauts-de-France que la France (pas de spécialisation).

En moyenne, un million d'euros de production dans le secteur de la construction des bâtiments génèrent 1,54 M€ de production, 0,66 M€ de valeur ajoutée et soutiennent 9,04 emplois ETP. Ce secteur fait partie des 50 % des 64 secteurs qui ont le plus faible multiplicateur de production, 40 % des 64 secteurs qui ont le plus faible multiplicateur de valeur ajoutée et 50 % des secteurs qui ont le faible multiplicateur d'emploi. Ces multiplicateurs relativement faibles reflètent de fortes fuites de richesses associées à l'importation de biens et services nécessaires à l'activité de la construction.

Il apparaît que la filière est très dépendante de l'approvisionnement en eau, de la régulation du climat et des événements extrêmes. L'outil ENCORE ne le fait pas ressortir, mais la filière bâtiment est également extrêmement dépendante de matières premières issues des milieux naturels telles que le sable.

	Eaux souterraines	Eaux de surface	Qualité du sol	Ventilation	Maintien du débit	Biorémediation	Filtration	Réduction de la pollution sensorielle	Régulation du climat	Protection des tempêtes et des inondations	Stabilisation des sols et contrôle de l'érosion	Contrôle des parasites	Dilution par l'atmosphère et les écosystèmes
Home building	M	M	L	VL	M	L	L	M	H	H	M	VL	
Production des matériaux de construction	VH	VH	L					L					L

Tableau 8 : Dépendances environnementales du secteur du bâtiment (Source : auteurs à partir de ENCORE)

	Emissions de gaz à effet de serre	Emissions atmosphériques			Consommation et prélèvement eau		
		PM2,5	NOx	SO2eq	Consommation eau verte	Consommation eau bleue	Prélèvement eau bleue
Construction bâtiments	L	VH	L	L	L	L	L
Matériaux de construction	M	VH	VH	M	L	M	VH

Tableau 9 : Impacts environnementaux associés au secteur de la construction (Source : auteurs à partir de données Exiobase)

Les dépendances et les impacts environnementaux liés à la construction des bâtiments résident principalement en amont de la chaîne de valeur, dans le sourcing et la production des matériaux actuellement utilisés (ciment, briques, béton), et dans les techniques de construction très consommatrices d'eau. Des leviers d'action pour réduire ces dépendances

³⁵ Bâtiment durable : vers un changement d'échelles en région Hauts-de-France. Contribution des acteurs de la filière du bâtiment Rapport du Conseil d'Orientation du Bâtiment Durable du CD2E. Juillet 2020. <https://cd2e.com/wp-content/uploads/2021/02/Rapport-BATIMENT-DURABLE-2020.pdf>

et les impacts qui y sont liés sont d'une part l'utilisation de matériaux biosourcés, et d'autres part l'inspiration des structures présentes dans la nature qui sont souvent plus solides et plus économes en matériaux que les structures imaginées par l'humain. Par exemple, les os sont très légers et composés d'alvéoles, et pourtant extrêmement résistants. La région a de nombreux atouts pour relever ce défi : les Hauts-de-France comptent sur leur territoire une solide filière de matériaux biosourcés (bois, paille) ou recyclés (Le Métisse, isolant à base de textiles recyclés)³⁶. Le CODEM, qui soutient le développement de matériaux biosourcés, est implanté à Amiens, contribuant ainsi au dynamisme de la région sur le sujet.

Les impacts des bâtiments tout au long de leur utilisation sont également une problématique majeure en raison notamment de l'utilisation de chauffage, de climatisation, et de la consommation d'eau. Cela est particulièrement vrai dans les Hauts-de-France : en 2020, la région comptait le plus de passoires thermiques, avec 40% des logements du territoire concernés, alors que la moyenne française est de 20,5%. Pour réduire les dépenses énergétiques qui y sont liées, plusieurs innovations bio-inspirées se répandent : des toits végétaux permettent de capter l'eau de pluie tout en filtrant et refroidissant l'air, des systèmes de climatisation par évaporation imitent la transpiration des êtres vivants et permettent des économies d'énergie, la ventilation peut être optimisée en s'inspirant de structures comme les termitières, des façades végétalisées permettent de protéger de la chaleur en été tout en laissant passer le soleil en hiver... Les Hauts-de-France ont un fort potentiel de développement de ces méthodes étant donné la mauvaise isolation de leur bâti, et l'urgence de remédier à cette situation.

Mobilités

La France est le troisième pays le plus important du marché ferroviaire mondial, derrière la Chine et l'Allemagne. A l'échelle des Hauts-de-France, le territoire est responsable de 40% de la production nationale³⁷.

L'industrie automobile occupe également une place importante dans le paysage industriel des Hauts-de-France qui produisent 31% de la production nationale de véhicules et 40% des moteurs et boîtes de vitesse³⁸. L'annonce de l'interdiction des ventes de véhicules thermiques en 2035 en Europe conduit cependant la filière à devoir s'adapter. On observe ainsi deux évolutions principales de l'industrie automobile : la conversion vers l'électrique et vers le vélo.

Les Hauts-de-France visent à devenir la vallée de la batterie. Une première usine a ouvert à l'été 2023 et deux autres devraient suivre. Le marché des batteries automobiles est actuellement dominé par la Chine. Le développement de la filière en France vise donc à réduire la dépendance de la filière automobile française à la Chine, mais également à réduire l'impact environnemental des voitures électriques assemblées en France : le bilan carbone d'une batterie française serait 40% inférieur à celui d'une batterie importée de Chine. Au-delà de l'étape de production des batteries, des discussions seraient en cours pour implanter dans la région une usine de raffinage de graphite pour l'amont, et de recyclage pour l'aval de la chaîne de valeur.

³⁶ Ibid

³⁷ L'industrie ferroviaire dans les Hauts-de-France, Nord France Invest. Consulté en juin 2023. <https://www.nordfranceinvest.fr/industrie-ferroviaire-hauts-de-france/>

³⁸ L'industrie automobile dans les Hauts-de-France, Nord France Invest. Consulté en juin 2023. <https://www.nordfranceinvest.fr/industrie-automobile-hauts-de-france/>

Autre transition industrielle en vue, le passage au vélo électrique : Fifteen, leader du vélo électrique en libre-service sur le marché européen, s’est associé à F2J, un spécialiste de la construction automobile, pour implanter une usine de montage de vélos électriques à Auxi le Château dans le Pas-de-Calais³⁹.

La valeur ajoutée secteur de la production automobile (code NAF 29) est estimée à 1 460 M€, soit une contribution à 1 % au PIB régional. Ce secteur emploierait 26 600 emplois ETP, soit une contribution de 1,3 % à l’emploi régional. Avec un quotient de localisation bien supérieur à l’unité (1,55), la région est spécialisée dans la fabrication automobile.

En moyenne, un million d’euros dans la fabrication automobile génère 1,32 M€ de production, 0,34 M€ de valeur ajoutée et soutiennent 5,3 emplois ETP. Ce secteur fait partie des 20 % des 64 secteurs qui ont le plus faible multiplicateur de production, 10 % des 64 secteurs qui ont le plus faible multiplicateur de valeur ajoutée et 20 % des secteurs qui ont le faible multiplicateur d’emploi. Ces multiplicateurs faibles reflètent de fortes fuites de richesses associées à l’importation de biens et services nécessaires à l’activité de la fabrication automobile et par le caractère fortement capitalistique du secteur.

Le tableau ci-dessous expose la dépendance environnementale du secteur de la contribution environnementale.

	Eaux souterraines	Eaux de surface	Qualité de l'eau	Ventilation	Maintien du débit	Filtration	Réduction de la pollution sensorielle	Régulation du climat	Protection des tempêtes et des inondations	Stabilisation des sols et contrôle de l'érosion	Dilution par l'atmosphère et les écosystèmes
Construction automobile	M	M	L	VL	M	VL	M	VL	M	VL	L

Tableau 10 : Dépendances du secteur de la construction automobile (Source : auteurs à partir de ENCORE)

On constate que les principales dépendances de l’industrie automobile concernent l’approvisionnement en eau. En effet celui-ci permet le déroulement des différentes étapes de la construction. L’outil ENCORE ne le fait pas ressortir, mais la filière automobile est également extrêmement dépendante de matières premières avec des véhicules qui utilisent en moyenne 1,3 tonnes de matériaux⁴⁰. La filière est également particulièrement consommatrice en acier, plomb et cuivre. Pour ce dernier composant, le développement des véhicules électriques devrait induire une augmentation de la consommation. Un rapport du CRU Group indique une consommation actuelle de 300 000 tonnes à l’échelle mondiale qui pourrait être multipliée par 13 d’ici 2040⁴¹.

Nous avons pu extraire les impacts du secteur de façon plus globale grâce à Exiobase et prendre ainsi en compte la consommation de carburants liée à l’utilisation des véhicules tout au long de leur vie.

³⁹ Auxi-le-Château : Fifteen ouvre sa première ligne française d’assemblage de vélos électriques. Courrier Picard. Consulté en juin 2023. <https://www.courrier-picard.fr/id417122/article/2023-05-26/auxi-le-chateau-fifteen-ouvre-sa-premiere-ligne-francaise-dassemblage-de-velos>

⁴⁰ <https://carlabelling.ademe.fr/chiffrescler/r/evolutionMasseMoyenne>

⁴¹ Electric vehicles, renewables, and Covid-19: what next for base metals demande?, CRU Group, 2021. https://www.crugroup.com/knowledge-and-insights/insights/2021/electric-vehicles-renewables-and-covid-19-what-next-for-base-metals-demand/?utm_source=Social+Media&utm_medium=Twitter&utm_campaign=CRU+Insight+CD+Jun+21

	Emissions de gaz à effet de serre	Emissions atmosphériques			Consommation et prélèvement eau		
		PM2,5	NOx	SO2eq	Consommation eau verte	Consommation eau bleue	Prélèvement eau bleue
Construction automobile	L	VH	L	L	L	M	VH
Essence / diesel	VH	VH	VH	VH	M	M	M
Biocarburants	L	M	M	M	VH	M	M

Tableau 11 : Impacts environnementaux associés au secteur de la mobilité (Source : auteurs à partir de données Exiobase)

Les impacts environnementaux associés à la construction automobile sont principalement concentrés dans les prélèvements d'eau bleue et les émissions de particules fines, mais c'est l'utilisation des véhicules automobiles qui génère les plus forts impacts. Les carburants basés sur les ressources fossiles ont généralement des impacts environnementaux importants, principalement sur les émissions de gaz à effet de serre et sur les émissions de polluants atmosphériques. Bien que les biocarburants aient des impacts moindres en termes d'émissions de gaz à effet de serre, ils génèrent des impacts élevés en termes de consommation d'eau (en lien avec la culture agricole).

Le biomimétisme permet de mettre au point des véhicules plus efficaces et moins consommateurs en carburant, en jouant sur la réduction des frottements, l'amélioration de la forme pour que le véhicule soit plus aérodynamique, la forme des composantes des moteurs pour augmenter leur efficacité...

Le biomimétisme permet également d'optimiser les réseaux et les flux de personnes, de marchandises, de déchets... soit en s'inspirant de colonies d'insectes ou d'amibes, soit en ayant recours à des algorithmes bio-inspirés. Ces optimisations peuvent permettre de réduire à la fois les dépendances et les impacts des mobilités car elles permettent de réduire le nombre de véhicules en circulation, quels qu'ils soient.

Organisation des entreprises

Nous avons également retenu une notion transversale à tous les secteurs d'activité qui est l'organisation des entreprises. En effet, loin de concerner uniquement les innovations techniques, le biomimétisme peut également être un catalyseur pour des innovations organisationnelles et ainsi permettre une meilleure résilience et une meilleure efficacité des entreprises. Pocheo, une entreprise basée dans le Nord et historiquement fabricante d'enveloppes depuis 1928, a par exemple adopté cette approche.⁴²

Pocheo s'inspire ainsi de la nature et cherche à imiter performance (atteindre un objectif avec le moins de moyen possible) et de sa robustesse (capacité à maintenir un système stable malgré des perturbations) pour :

- Son organisation, passée d'un système avec une hiérarchie verticale à un système décentralisé qui ne compte que deux niveaux hiérarchiques. L'entreprise est organisée en unités capables de prendre des décisions, renforçant ainsi la robustesse sociale de l'entreprise : les salariés, impliqués dans l'ensemble du fonctionnement de l'entreprise,

⁴² Le biomimétisme : s'inspirer du vivant pour entreprendre sans détruire. Emission C'est pas du Vent animée par Anne Cécile Bras, le 09/06/2022. <https://www.rfi.fr/fr/podcasts/c-est-pas-du-vent/20220609-le-biomim%C3%A9tisme-s-inspirer-du-vivant-pour-entreprendre-sans-d%C3%A9truire>

restent en poste. Cela a également permis à Pochecho de passer à travers les difficultés de recrutement rencontrées par beaucoup d'autres entreprises.

- Son mode de production : dans un cycle naturel, rien ne représente un déchet. L'entreprise s'emploie à mettre en œuvre une démarche circulaire en évitant la production de déchet, en utilisant l'eau de pluie récupérée via un toit végétal dans ses process, en mettant en place un système de phyto épuration pour les eaux usées...

L'entreprise a également adapté ses bâtiments. Par exemple, elle a mis en place un système de climatisation par évaporation, à l'instar de la transpiration chez les êtres vivants.

Un autre point notable est la diversification de l'entreprise. Originellement productrice d'enveloppe, Pochecho a également développé une activité d'accompagnement à la transition à travers une offre de formations à la RSE ou de l'ouverture d'un bureau de conseil en transition écologique. Cette diversification apporte de la stabilité à l'entreprise qui, si jamais la production d'enveloppe s'effondre, pourra s'appuyer sur d'autres activités pour survivre et continuer à se développer. Les écosystèmes fonctionnent également ainsi : plus il comprend de biodiversité, plus il est résilient.

Pochecho a également intégré une démarche de biomimétisme dans ses activités techniques. Le tableau ci-dessous résume les actions bio-inspirées mises en place par Pochecho⁴³ :

Principes du vivant	Sous-catégories	Actions entreprises
La nature innove en permanence	Répliquer des stratégies efficaces	<ul style="list-style-type: none"> - Travail avec les fournisseurs : rédaction d'un cahier des charges précisant la vision et la politique RSE de Pochecho ; mise en place d'audits pour améliorations des process des papetiers. - Extension des process déjà établis pour la qualité aux questions de sécurité et d'environnement. - Système de management suivant les normes ISO.
	Intégrer l'inattendu	<ul style="list-style-type: none"> - Relance de l'activité après l'incendie de 2011.
	Intégrer l'information pour rebattre les cartes des possibilités	<ul style="list-style-type: none"> - Développement du tourisme industriel devant le constat fait de l'intérêt du public. - Création du bureau d'études OUVERT pour guider d'autres structures dans leur démarche RSE.
La nature fonctionne par cycle et privilégie l'utilisation des ressources locales et des énergies de flux	Inclure la diversité (process, systèmes, organisationnelle...)	<ul style="list-style-type: none"> - Favoriser et valoriser la diversité (origine sociale, parcours) du personnel. - Réunions « décolle », qui remplacent la fonction de responsable R&D. Ouvertes à tous, elles permettent d'initier des projets.
	Maintenir l'intégrité fonctionnelle grâce à l'auto-régénération	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser la chaleur des machines de l'imprimerie pour chauffer l'usine.
	Recourir à la circularité des flux naturels	<ul style="list-style-type: none"> - Toitures végétalisées pour récupérer et utiliser l'eau de pluie.
	Utilisation de ressources locales	<ul style="list-style-type: none"> - Recours aux déchets de palettes en bois des industries voisines pour chauffer l'usine.

⁴³ Tableau réalisé en 2019 à partir de bibliographie et d'un entretien avec Elodie Bia, responsable de développement du bureau d'études OUVERT.

La nature repose sur des équilibres dynamiques et interconnectés	Auto-organisation par interactions des composants	- Organisation en modules et en groupes de coopération.
	Construire du particulier au général (one unit at a time)	- Philosophie d'OUVERT, privilégier une approche partant du particulier pour trouver des solutions spécifiques et concrètes. - Réunions « décolle » : faire d'une idée personnelle un projet collectif, sans être restreint par ses fonctions.
	Combiner des composants modulaires et imbriqués	- Ouverture tiers-lieu, pôle d'excellence, qui viennent élargir et compléter le projet Pochecho : projets à la fois imbriqués et indépendants.
La nature optimise l'utilisation des ressources & moyens	Recourir à des process peu gourmands en énergie et matières premières	- Investissements dans des équipements moins énergivores. - Réduction du poids des enveloppes
	Recourir au design multifonctionnel (une solution pour plusieurs besoins)	- Station d'épuration à base de plantes : éviter d'avoir des camions venant sur site, permettre d'avoir un espace vert, faire des économies - Pour une tâche : plusieurs personnes savent faire et peuvent contribuer, en fonction des besoins. Mise en place de formations RSE : même les non-commerciaux sont amenés à vendre.
	Recyclage de tous les matériaux	- 100% de recyclage et/ou réutilisation
	Adapter la forme à l'usage	- Approche par le terrain pour les missions du BE, en impliquant le personnel de l'entreprise à travers les « engagés », plus efficace qu'un rapport uniquement externe.
Recourir à des procédés chimiques compatibles avec le vivant	Utiliser un nombre limité d'éléments	- Allègement des procédures de contrôle redondantes, et décentralisation du système d'amélioration en continu.
	Utiliser l'eau comme solvant	- Encres à base d'eau. - Encres nettoyées à l'eau de pluie.

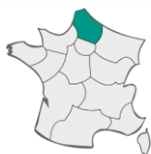
Le potentiel bio-inspiré pour l'évolution de l'organisation des entreprises à l'échelle des Hauts de France est énorme car il concerne chacune des entreprises du territoire.

V. Conclusion et synthèse

La région Hauts-de-France a entamé une troisième révolution industrielle. Pour l'accompagner dans cette transition entre les industries d'hier et celles de demain, le biomimétisme peut se révéler un atout dans la mesure où il permet d'identifier de nouvelles solutions pour répondre à un besoin ou à une problématique industrielle, d'optimiser les ressources utilisées pour le faire, tout en limitant les impacts de l'économie sur l'environnement.

LE BIOMIMÉTISME EN HAUTS-DE-FRANCE

Etude réalisée par VERTIGOLAB avec le soutien de



Avec un programme **rev3** ambitieux visant à transformer son économie vers plus de **durabilité** et **solidarité**, la région Hauts-de-France présente un potentiel de transition important.



Forte de cette dynamique, la Région Hauts-de-France a souhaité s'intéresser au potentiel de développement du **biomimétisme** sur son territoire.

UN TERRITOIRE PROPICE A L'ADOPTION DU BIOMIMÉTISME

Une économie aux difficultés structurelles difficiles à surmonter,



5^{ème} position des régions françaises contribuant au PIB



12^{ème} position des régions en matière de taux de pauvreté



11,3% taux de chômage, soit le plus important des régions françaises

...mais où le biomimétisme pourrait jouer un rôle moteur pour la transition

Via des secteurs économiques clés, pour lesquels le biomimétisme pourrait contribuer à une (re)dynamisation :



- **Industrie chimique, du textile, de la métallurgie**, secteur en perte de vitesse dont la spécialisation régionale diminue



- **Industrie pharmaceutique**, secteur en expansion à la croissance plus importante en HdF que dans le reste de la France



Et des secteurs déterminants pour leurs dépendances et impacts sur l'environnement :



- **Production d'énergie** : dépendance à la ressource en eau et services de régulation du climat. Impact sur l'eau.



- **Bâtiment** : dépendance à l'eau et matières premières. Impact sur les émissions atmosphériques et l'eau.



- **Mobilité** : dépendance à l'eau et matériaux. Impact sur les émissions atmosphériques.

« Il serait idiot de ne pas profiter des 3,8 milliards d'années de R&D et retours d'expériences de la vie sur Terre »
- Acteur industriel du territoire

« Si on fait correctement du biomimétisme, on va dans le sens de réduire l'impact sur le vivant »
- Acteur académique du territoire



EEL Energy, un exemple emblématique de solution bio-inspirée

Hydrolienne bio-inspirée pour tous types de courants, qui s'inspire des ondulations qui permettent aux poissons de se déplacer.



6,9M€ levés depuis la création
Coût production d'électricité revenant à moins 150€/MWh

Bénéfices environnementaux : pas d'émissions de CO2 en fonctionnement, pas de pollution sonore ni visuelle

« [Notre technologie] n'est pas soumise aux limites physiques des éoliennes. Celles-ci sont limitées à 59% dans la récupération de l'énergie. Notre machine est beaucoup plus efficace. »
- Franck Sylvain, Le Monde 30 mai 2023

LA R&D, LES SOLUTIONS BIO-INSPIRÉES DE DEMAIN



LA RECHERCHE EN HAUTS-DE-FRANCE

4^{ème} position des secteurs (sur 64) ayant le plus fort effet d'entraînement sur l'économie territoriale

11^{ème} position des secteurs contribuant le plus au PIB du territoire

La recherche bio-inspirée constitue un domaine dynamique en Hauts-de-France avec des établissements engagés (UTC, ENSAIT) et des entreprises innovantes.

2 start-ups situées en Hauts-de-France sur 15 en France ayant levé plus de 5M€ (Tissium et Eel Energy)

« Cela redonne du sens à ce que je fais en recherche »
- Acteur académique du territoire

Un intérêt marqué malgré des moyens alloués très variables, entre 10 et 100% du temps de travail des acteurs interrogés.

Sur les acteurs consultés : ceux ayant déjà adopté le biomimétisme comptent continuer, et les 2/3 n'ayant pas encore expérimenté l'approche souhaite le faire.



Merci à l'ensemble des personnes et structures ayant contribué à cette étude et sans qui celle-ci n'aurait pas pu aboutir.



VI. Annexes

Annexe 1 : Identification des secteurs de spécialisation de la région Hauts-de-France.

	SQL
CPA_C24 - Produits métallurgiques	2,47
CPA_C23 - Autres produits minéraux non métalliques	2,04
CPA_C20 - Produits chimiques	1,86
CPA_C21 - Produits pharmaceutiques de base et préparations pharmaceutiques	1,75
CPA_C17 - Papier et carton	1,72
CPA_C29 - Véhicules automobiles, remorques et semi-remorques	1,55
CPA_N80-82 - Services de sécurité et d'enquête; services relatifs aux bâtiments et aménagement paysag	1,55
CPA_H52 - Entreposage et services auxiliaires des transports	1,53
CPA_A01 - Produits de l'agriculture et de la chasse et services annexes	1,53
CPA_C13-15 - Produits de l'industrie textile, articles d'habillement, cuir et articles en cuir	1,52
CPA_A03 - Produits de la pêche et de l'aquaculture; services de soutien à la pêche	1,50
CPA_Q87_88 - Services d'hébergement médico-social et social; services d'action sociale sans hébergem	1,44
CPA_E36 - Eau naturelle; traitement et distribution d'eau	1,43
CPA_C22 - Produits en caoutchouc et en plastique	1,36
CPA_P85 - Services de l'enseignement	1,35
CPA_S96 - Autres services personnels	1,34
CPA_C10-12 - Produits des industries alimentaires, boissons et produits à base de tabac	1,31
CPA_O84 - Services d'administration publique et de défense; services de sécurité sociale obligatoire	1,27
CPA_Q86 - Services de santé humaine	1,26
CPA_C18 - Travaux d'impression et de reproduction	1,18
CPA_A02 - Produits sylvicoles et services annexes	1,16
CPA_G47 - Commerce de détail, à l'exclusion des automobiles et des motocycles	1,12
CPA_C25 - Produits métalliques, à l'exclusion des machines et équipements	1,11
CPA_L68B - Services immobiliers à l'exclusion des loyers imputés	1,05
CPA_F41-43 - Constructions et travaux de construction	1,02
CPA_T97-98 - Services des ménages en tant qu'employeurs; biens et services divers produits par les mé	1,02
CPA_C27 - Équipements électriques	1,01
CPA_C31_32 - Meubles et autres produits manufacturés	0,99
CPA_G45 - Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles	0,94
CPA_S94 - Services fournis par des organisations associatives	0,93
CPA_H49 - Transports terrestres et transports par conduites	0,91
CPA_C28 - Machines et équipements n.c.a.	0,90
CPA_L68A - Loyers imputés des logements occupés par leur propriétaire	0,88
CPA_M73 - Services de publicité et d'études de marché	0,87
CPA_N77 - Location et location-bail	0,85
CPA_E37-39 - Collecte et traitement des eaux usées; boues d'épuration; collecte, traitement et éliminatio	0,84
CPA_G46 - Commerce de gros, à l'exclusion des automobiles et des motocycles	0,82
CPA_R93 - Services sportifs, récréatifs et de loisirs	0,81
CPA_M69_70 - Services juridiques et comptables; services des sièges sociaux; conseil de gestion	0,79
CPA_K64 - Services financiers, hors assurances et caisses de retraite	0,79
CPA_D35 - Électricité, gaz, vapeur et air conditionné	0,77
CPA_B05-09 - Produits des industries extractives	0,77
CPA_M71 - Services d'architecture et d'ingénierie; services de contrôle et analyses techniques	0,77
CPA_M74_75 - Autres services spécialisés, scientifiques et techniques et services vétérinaires	0,75
CPA_H53 - Services de poste et de courrier	0,75
CPA_I55-56 - Services d'hébergement et de restauration	0,74
CPA_C33 - Réparation et installation de machines et d'équipements	0,74
CPA_C16 - Bois, articles en bois et en liège, à l'exclusion des meubles; articles de vannerie et de sparter	0,74
CPA_H50 - Transport par eau	0,74
CPA_S95 - Services de réparation d'ordinateurs et de biens personnels et domestiques	0,70
CPA_K66 - Services auxiliaires aux services financiers et aux assurances	0,70
CPA_N79 - Services des agences de voyage, des voyagistes et autres services de réservation et service	0,61
CPA_J61 - Services de télécommunications	0,58
CPA_C30 - Autres matériels de transport	0,51
CPA_J62_63 - Programmation, conseil et autres activités informatiques; Services d'information	0,45
CPA_K65 - Services d'assurance, de réassurance et de caisses de retraite, à l'exclusion de la sécurité sc	0,45
CPA_J58 - Édition	0,44
CPA_R90-92 - Services créatifs, artistiques, du spectacle, des bibliothèques, archives, musées et autres	0,42
CPA_C26 - Produits informatiques, électroniques et optiques	0,37
CPA_C19 - Produits de la cokéfaction et du raffinage	0,32
CPA_J59_60 - Production de films cinématographiques, de vidéos et de programmes de télévision; enreg	0,30
CPA_N78 - Services liés à l'emploi	0,18
CPA_M72 - Services de recherche et développement scientifique	0,16
CPA_H51 - Transports aériens	0,03

Annexe 2 : Multiplicateurs de production

Les secteurs de spécialisation de la région sont identifiés en jaune.

65	Services d'assurance, de réassurance et de caisses de retraite	1,95
59-60	Production de films cinématographiques, de vidéos et de prog	1,81
51	Transports aériens	1,81
72	Services de recherche et développement scientifique	1,77
79	Services des agences de voyage, des voyagistes et autres se	1,77
78	Services liés à l'emploi	1,75
50	Transport par eau	1,74
58	Édition	1,72
90-92	Services créatifs, artistiques, du spectacle, des bibliothèques,	1,71
53	Services de poste et de courrier	1,70
16	Bois, articles en bois et en liège, à l'exclusion des meubles; ar	1,70
62-63	Programmation, conseil et autres activités informatiques; Serv	1,68
55-56	Services d'hébergement et de restauration	1,67
94	Services fournis par des organisations associatives	1,66
69-70	Services juridiques et comptables; services des sièges sociaux	1,66
66	Services auxiliaires aux services financiers et aux assurances	1,62
87-88	Services d'hébergement médico-social et social; services d'ac	1,61
71	Services d'architecture et d'ingénierie; services de contrôle et	1,61
73	Services de publicité et d'études de marché	1,60
85	Services de l'enseignement	1,60
46	Commerce de gros, à l'exclusion des automobiles et des moto	1,60
33	Réparation et installation de machines et d'équipements	1,59
93	Services sportifs, récréatifs et de loisirs	1,59
26	Produits informatiques, électroniques et optiques	1,59
74-75	Autres services spécialisés, scientifiques et techniques et serv	1,58
37-39	Collecte et traitement des eaux usées; boues d'épuration; coll	1,57
49	Transports terrestres et transports par conduites	1,56
61	Services de télécommunications	1,55
64	Services financiers, hors assurances et caisses de retraite	1,55
41-43	Constructions et travaux de construction	1,54
95	Services de réparation d'ordinateurs et de biens personnels et	1,54
05-08	Produits des industries extractives	1,54
45	Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles	1,51
28	Machines et équipements n.c.a.	1,51
47	Commerce de détail, à l'exclusion des automobiles et des moto	1,50
82-84	Services d'administration publique et de défense; services de	1,50
35	Électricité, gaz, vapeur et air conditionné	1,50
25	Produits métalliques, à l'exclusion des machines et équipemen	1,49
10-12	Produits des industries alimentaires, boissons et produits à ba	1,49
18	Travaux d'impression et de reproduction	1,49
80-81	Services de sécurité et d'enquête; services relatifs aux bâtime	1,48
31-32	Meubles et autres produits manufacturés	1,47
30	Autres matériels de transport	1,44
02	Produits sylvicoles et services annexes	1,44
27	Équipements électriques	1,43
86	Services de santé humaine	1,42
22	Produits en caoutchouc et en plastique	1,40
52	Entreposage et services auxiliaires des transports	1,38
77	Location et location-bail	1,38
96	Autres services personnels	1,38
36	Eau naturelle; traitement et distribution d'eau	1,38
03	Produits de la pêche et de l'aquaculture; services de soutien à	1,37
13-15	Produits de l'industrie textile, articles d'habillement, cuir et arti	1,36
19	Produits de la cokéfaction et du raffinage	1,36
17	Papier et carton	1,36
23	Autres produits minéraux non métalliques	1,35
29	Véhicules automobiles, remorques et semi-remorques	1,32
01	Produits de l'agriculture et de la chasse et services annexes	1,31
68B	Loyers imputés des logements occupés par leur propriétaire	1,27
20	Produits chimiques	1,26
24	Produits métallurgiques	1,26
21	Produits pharmaceutiques de base et préparations pharmaceu	1,25
68A	Services immobiliers à l'exclusion des loyers imputés	1,05

Annexe 3 : Tableau de correspondance des nomenclatures

NA38	NAF88	Intitulé NA38
AZ	01-03	Agriculture, sylviculture et pêche
BZ	05-09	Industries extractives
CA	10-12	Fabrication de denrées alimentaires, de boissons et de produits à base de tabac
CB	13-15	Fabrication de textiles, industries de l'habillement, industrie du cuir et de la chaussure
CC	16-18	Travail du bois, industries du papier et imprimerie
CD	19	Cokéfaction et raffinage
CE	20	Industrie chimique
CF	21	Industrie pharmaceutique
CG	22-23	Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique ainsi que d'autres produits minéraux non métalliques
CH	24-25	Métallurgie et fabrication de produits métalliques à l'exception des machines et des équipements
CI	26	Fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques
CJ	27	Fabrication d'équipements électriques
CK	28	Fabrication de machines et équipements n.c.a.
CL	29-30	Fabrication de matériels de transport
CM	31-33	Autres industries manufacturières ; réparation et installation de machines et d'équipements
DZ	35	Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné
EZ	36-39	Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution
FZ	41-43	Construction
GZ	45-47	Commerce ; réparation d'automobiles et de motocycles
HZ	49-53	Transports et entreposage
IZ	55-56	Hébergement et restauration
JA	58-60	Edition, audiovisuel et diffusion
JB	61	Télécommunications
JC	62-63	Activités informatiques et services d'information
KZ	64-66	Activités financières et d'assurance
LZ	68	Activités immobilières
LI		<i>dont : loyers imputés des logements occupés par leur propriétaire</i>
MA	69-71	Activités juridiques, comptables, de gestion, d'architecture, d'ingénierie, de contrôle et d'analyses techniques
MB	72	Recherche-développement scientifique
MC	73-75	Autres activités spécialisées, scientifiques et techniques
NZ	77-82	Activités de services administratifs et de soutien
OZ	84	Administration publique
PZ	85	Enseignement
QA	86	Activités pour la santé humaine
QB	87-88	Hébergement médico-social et social et action sociale sans hébergement
RZ	90-93	Arts, spectacles et activités récréatives
SZ	94-96	Autres activités de services
TZ	97-98	Activités des ménages en tant qu'employeurs ; activités indifférenciées des ménages en tant que producteurs de biens et services pour usage propre
UZ	99	Activités extraterritoriales

Annexe 4 : Présentation de la méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux des activités économiques

Afin d'évaluer les impacts environnementaux, nous nous sommes appuyés sur les données du modèle Exiobase (Stadler et al., 2018⁴⁴). Ce modèle fait partie des modèles entrées-sorties multirégionaux étendus à l'environnement. Il a été développé grâce à un consortium de quelques instituts de recherche (Université de Norvège des sciences et technologie NTNU, organisation néerlandaise pour la recherche appliquée TNO, institut de recherche européen sur la soutenabilité SERI, l'Université de Leiden, l'Université d'économie et de gestion de Vienne). La construction de ce modèle a été financée par des programmes de recherche européen. Ce modèle a réussi à s'imposer dans la littérature comme un modèle de référence afin d'évaluer les impacts environnementaux en mobilisant ce type d'analyse.

Le modèle Exiobase permet d'évaluer les impacts environnementaux (à travers des indicateurs de pressions – midpoint et des indicateurs d'impacts – endpoint) pour chaque euro ou millions d'euros de chiffre d'affaires au sein d'un secteur d'un pays. L'intérêt du modèle d'Exiobase est d'évaluer des indicateurs d'empreinte environnementale en intégrant à la fois la complexité des échanges interindustriels au sein d'un pays, et des échanges commerciaux internationaux entre les différents pays du monde. Ce modèle est donc capable d'évaluer les impacts d'un euro de chiffre d'affaires pour le secteur qui produit le bien ou service, mais aussi pour l'ensemble des activités (en France et dans le monde) qui se trouvent en amont de la chaîne de valeur du produit. Le modèle décompose l'économie selon 200 produits et le monde est divisé en 44 pays. Les autres pays sont regroupés selon 5 régions du monde.

Pour les indicateurs environnementaux pris en compte dans ce rapport, ils sont exprimés dans le modèle Exiobase comme suit :

- Pour les émissions de gaz à effet de serre : en gCO₂eq / €
- Pour la consommation et le prélèvement d'eau : en dm³/€

Il se posait alors la question des seuils pour juger si une activité a des impacts très élevés, moyens, faibles ou très faibles. Ces impacts ont été évalués d'une manière relative. Ainsi :

- Les secteurs qui font partie des 25 % de l'ensemble des secteurs qui ont les impacts les plus élevés sont considérés comme « impacts très élevés » (couleur rouge) ;
- Les secteurs qui font partie entre 25 % et 50 % de l'ensemble des secteurs qui ont les impacts les plus élevés sont considérés comme « impacts moyens » (couleur orange) ;
- Les secteurs qui font partie entre 25 % et 50 % de l'ensemble des secteurs qui ont les plus faibles impacts sont considérés comme « impacts faibles » (couleur vert clair) ;
- Les secteurs qui font partie des 25 % de l'ensemble des secteurs qui ont les plus impacts sont considérés comme « impacts très faibles » (couleur vert foncé).

Ainsi, cette classification permet de comparer les secteurs entre eux selon les émissions de polluants et la consommation d'eau associés à leurs process de production.

⁴⁴ Stadler, K. et al, 2018, Exiobase 3 : Developing a Time Series of Details Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables, Journal of Industrial Ecology, 22, 502-515

En tenant compte de ces règles, le tableau ci-dessous précise le montant des seuils des émissions / consommation retenus pour classer les secteurs selon leurs impacts.

Tableau 12 : identification des seuils mobilisés dans cette étude pour classer les secteurs selon leurs impacts environnementaux

	Impacts très faibles	Impacts faibles	Impacts moyens	Impacts très élevés
Emissions de gaz à effet de serre	< 209 kgCO ₂ eq / €	Entre 209 kgCO ₂ eq / € et 488 kgCO ₂ eq / €	Entre 488 kgCO ₂ eq / € et 1 210 kgCO ₂ eq / €	> 1 210 kgCO ₂ eq / €
Emissions particules fines (PM _{2,5})	< 34 mg PM _{2,5} / €	Entre 34 mg PM _{2,5} / € et 85 mg PM _{2,5} / €	Entre 85 mg PM _{2,5} / € et 157 mg PM _{2,5} / €	> 157 mg PM _{2,5} / €
Oxydes d'azote (NOx)	< 292 mg NOx / €	Entre 292 mg NOx / € et 710 mg NOx / €	Entre 710 mg NOx / € et 1 348 mg NOx / €	> 1 348 mg NOx / €
Gaz acidifiants	< 745 mg SO ₂ eq / €	Entre 745 mg SO ₂ eq / € et 1 933 mg SO ₂ eq / €	Entre 1 933 mg SO ₂ eq / € et 3 535 mg SO ₂ eq / €	> 3 535 mg SO ₂ eq / €
Consommation d'eau verte	< 11 dm ³ /€	Entre 11 dm ³ /€ et 22 dm ³ /€	Entre 22 dm ³ /€ et 41,4 dm ³ /€	> 41,4 dm ³ /€
Consommation d'eau bleue	< 1,5 dm ³ /€	Entre 1,5 et 3,15 dm ³ /€	Entre 3,15 et 6,2 dm ³ /€	> 6,2 dm ³ /€
Prélèvement d'eau bleue	< 1,6 dm ³ /€	Entre 1,6 dm ³ /€ et 5,1 dm ³ /€	Entre 5,1 dm ³ /€ et 7,3 dm ³ /€	> 7,3 dm ³ /€

Annexe 5 : Personnes interrogées en entretien et via le questionnaire

Nous avons mené des entretiens auprès de 3 personnes particulièrement impliquées sur la question du biomimétisme :

- Karim el Kirat est chercheur en biomécanique et bioingénierie dans l'UMR CNRS 6600 ainsi que professeur à l'Université Technologique de Compiègne.
- Philippe Vroman est chercheur au laboratoire GEMTEX (génie des matériaux textiles) et professeur à l'ENSAIT.
- Philippe Lubineau est directeur de la recherche et des programmes au Centre technique des industries mécaniques.

14 chercheurs et chercheuses ont répondu au questionnaire en ligne. Ils viennent du CNRS, de l'INRAE, du CERDD et des Universités de Lille, d'Artois, l'Université Catholique de Lille, l'Université Polytechnique des Hauts-de-France, et des écoles d'ingénieur de l'UTC, et Centrale Lille. Les réponses sont diverses et reflètent une grande variété de situations.

Annexe 6 : Questionnaire en ligne et trame d'entretiens

Questionnaire à destination des chercheurs / enseignants-chercheurs

Ce questionnaire servira également de trame pour les entretiens semi-directifs. Sont surlignés en jaune les questions qui seront uniquement abordées en entretien.

en vert les questions obligatoires

Questions introductives : votre connaissance du biomimétisme

- Nom et prénom : ...
- Nom du laboratoire de recherche auquel vous êtes affilié.
- Quel est votre organisme de tutelle ?
- Indiquez votre domaine de recherche (selon la typologie section CNU) : [\(liste déroulante\)](#)

Liste des sections du conseil national des universités

Section	TITRE DE LA SECTION
I	Droit privé et sciences criminelles
I	Droit public
I	Histoire du droit et des institutions
II	Sciences politiques
II	Sciences économiques
III	Sciences de gestion
III	Sciences du langage : linguistique et phonétique générales
III	Langues et littératures anciennes
III	Langues et littératures françaises
III	Littératures comparées
III	Langues et littératures anglaises et anglo-saxonnes
III	Langues et littératures germaniques et scandinaves
III	Langues et littératures slaves
III	Langues et littératures romanes : espagnol, italien, portugais, autres langues romanes
III	Langues et littératures arabes, chinoises, japonaises, hébraïques, d'autres données linguistiques
III	Psychologie clinique, psychologie sociale
III	Philosophie
III	Architecture (sans théorie et ses pratiques), arts appliqués, arts plastiques, arts du spectacle, épéologie des enseignements artistiques, esthétiques, muséologie, musées, sciences de l'art
IV	Sociologie, démographie
IV	Anthropologie biologique, ethnologie, préhistoire
IV	Histoire, civilisation, archéologie et art des mondes anciens et médiévaux
IV	Histoire et civilisations : histoire des mondes modernes, histoire du monde contemporain, de l'art, de la musique
IV	Géographie physique, humaine, économique et régionale
IV	Aménagement de l'espace, urbanisme
V	Mathématiques
V	Mathématiques appliquées et applications des mathématiques
VI	Informatique
VI	Médecine dentaire et odontologie
VI	Construisants élémentaires
VI	Médecine dentaire et optique
VI	Chimie théorique, physique, analytique
VII	Chimie des matériaux
VIII	Astronomie, astrophysique
VIII	Structure et évolution de la Terre et des autres planètes
VIII	Terre solide : géodynamique des enveloppes supérieures, paléo-biosphère
VIII	Météorologie, océanographie physique et physique de l'environnement
IX	Mécatronique, génie mécanique, génie civil
IX	Génie informatique, automatique et traitement du signal
IX	Energétique, génie des procédés
IX	Génie électrique, électronique, photonique et systèmes
IX	Biophysique et biologie moléculaire
X	Biologie cellulaire
X	Physiologie
X	Biologie des populations et écologie
X	Biologie des organismes
X	Neurosciences
X	Sciences de l'éducation
XI	Sciences de l'information et de la communication
XI	Épistémologie, histoire des sciences et des techniques
XI	Cultures et langues régionales
XI	Sciences et techniques des activités physiques et sportives
XI	Théologie catholique
XI	Théologie protestante
XI	Sciences physico-chimiques et technologies pharmaceutiques
XI	Sciences du médicament
XI	Sciences biologiques pharmaceutiques

- Manque de connaissance en biologie (difficulté d'identifier des sources d'inspiration pour vos activités de recherche)
- Scepticisme sur la faisabilité de ces approches (absence de gain pour la recherche)
- Manque de financement
- Autres, précisez : _____

9. Pensez-vous dans l'avenir (dans les 10 prochaines années) utiliser une approche bioinspirée dans vos activités de recherche ? OUI / NON

10. Si OUI, pourquoi et dans quel domaine d'application/de recherche ?

11. L'une de ces raisons vous inciterait-elle à vous intéresser davantage au biomimétisme ? *(question sous forme de matrice)*

- Source d'inspiration pour vos recherches : 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- Approche intégrée avec une dimension environnementale positive : 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- Approche compétitive par rapport à d'autres approches plus classiques de votre domaine : 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- Augmentation du nombre de publications scientifiques : 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- Rayonnement et attractivité académique : 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- Apport de financements : 1 – 2 – 3 – 4 – 5

12. Voyez-vous d'autres raisons qui vous inciteraient à vous intéresser davantage au biomimétisme ?

-----PAGE SUIVANTE SI OUI-----

Vos travaux de recherche sur le biomimétisme

13. Dans quels champs vos travaux de recherche sur le biomimétisme s'inscrivent-ils ? *(plusieurs choix possibles)*

- Robotique
- Habitat
- Energie
- Chimie
- Marin
- Cosmétique
- Matériaux
- Adaptation au changement climatique
- Gestion de la biodiversité
- Culture
- Conseil
- Agriculture
- Mécanique
- Santé/Thérapeutique

Les termes et définitions officiels de la norme ISO NF 18458 liés au biomimétisme sont les suivants :

- Biomimétisme** : philosophie et approches conceptuelles interdisciplinaires prenant pour modèle la nature afin de relever les défis du développement durable (social, environnemental et économique)
- Bio-inspiration** : approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques.
- Biomimétique** : 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.
- Bionique** : discipline technique qui cherche à reproduire, améliorer ou remplacer des fonctions biologiques par leurs équivalents électroniques et/ou mécaniques.

Êtes-vous alignés avec ces définitions ? Que mettez-vous derrière ces termes ? Quels termes utilisez-vous au quotidien ?

5. Quel est l'état de votre connaissance sur le biomimétisme ?

1 – 2 – 3 – 4 – 5 (1 : aucune connaissance sur le biomimétisme, 5 : excellente connaissance sur le biomimétisme)

6. Pouvez-vous donner votre définition du biomimétisme ? ...

-----PAGE SUIVANTE-----

Votre relation au biomimétisme

7. Avez-vous eu l'occasion de mobiliser dans le cadre de vos travaux de recherche une approche bioinspirée en phase avec cette définition du biomimétisme ? OUI / NON

Si NON, répondre aux questions 7 à 12 et pas à la suite

Si OUI, allez directement à la question 12

-----PAGE SUIVANTE SI NON-----

Votre positionnement par rapport au biomimétisme

8. Si NON, pouvez-vous expliquer les raisons

(trois choix possibles => mettre un choix de priorité de 1 à 3 - hiérarchisation) :

- Votre domaine de recherche ne se prête pas au biomimétisme
- Vous n'avez pas encore investigué la piste des approches bio-inspirées
- Approche interdisciplinaire / multidisciplinaire insuffisamment développée (activités de recherche trop cloisonnées)
- Faible valorisation dans le milieu académique (publication dans des revues scientifiques, colloque scientifique)

- Physique
- Biologie
- Enseignement
- Accompagnement transverse/Conseil
- Transport
- Territoire
- Informatique/Numérique
- Organisationnel
- Autres ?

14. Indiquez en quelques mots les finalités et potentiels champs d'application de vos activités de recherche qui mobilisent du biomimétisme : ...

15. Pouvez-vous lister vos projets de recherche en lien avec le biomimétisme : *(matrice textuelle)*

Intitulé du projet	Description synthétique	Niveau TRL	Partenaires	Dates de début et de fin du projet
...

Motivation à s'inspirer du vivant

16. Précisez sur une échelle de 1 à 5 l'intérêt d'adopter une approche bioinspirée dans vos activités de recherche

(matrice)

- Source d'inspiration pour vos recherches : 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- Approche intégrée avec une dimension environnementale positive : 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- Approche compétitive par rapport à d'autres approches plus classiques de votre domaine : 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- Augmentation du nombre de publications scientifiques : 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- Rayonnement et attractivité académique : 1 – 2 – 3 – 4 – 5
- Apport de financements : 1 – 2 – 3 – 4 – 5

17. Voyez-vous d'autres raisons ?

18. Si vous estimez le biomimétisme compétitif par rapport à d'autres approches plus classiques, pourriez-vous indiquer pourquoi ?

Moyens alloués à la recherche sur le biomimétisme

Pour cette partie, considérez l'ensemble de vos travaux de recherche en lien avec le biomimétisme, tous projets bioinspirés confondus.

19. Quelle est la part de votre temps de travail moyen consacré au biomimétisme ? (sur les trois dernières années)

(liste déroulante)

- < 10 % ;
- 20 % ;
- 25 % ;
- 40 % ;
- 50 % ;
- 60 % ;
- 75 % ;
- 80 % ;
- 100 %

20. Durant ces trois dernières années, quel était environ le montant du budget moyen annuel (financements propres au projet et financements du laboratoire) consacré à vos projets de biomimétisme ? (possible d'indiquer une fourchette)

21. Sur ce montant, pouvez-vous préciser en moyenne, pour l'ensemble des projets (matrice textuelle)

	%approximatif (ou fourchette) du budget destiné à...	Dépense majoritairement réalisée en Haut-de-France ? (oui/non)
...la rémunération des chercheurs et autres personnes mobilisées		
...l'achat de matériel (p.ex., équipements de laboratoire, ordinateurs)		
...du consommable (p.ex., papier, énergie, prestation de services comme la comptabilité)		
...de la sous-traitance (externalisation d'une partie de la recherche)		
...autres (précisez)		

22. Le biomimétisme et la bio-inspiration sont-ils :

- des axes stratégiques de la structure dans laquelle vous travaillez ?
- des projets développés grâce à une initiative personnelle ?
- autre : précisez

23. Dans le cadre de vos activités de recherche sur le biomimétisme, avez-vous pendant ces trois dernières années sous votre responsabilité des doctorants et des post-doctorants ?

- Nombre de doctorants : ...
- Nombre de post-doctorants : ...

La collaboration dans le biomimétisme

30. Le biomimétisme dans vos recherches permet-il ou mobilise-t-il davantage de travail collaboratif avec des acteurs du monde privé ? (entreprises, clusters d'innovation...)

31. Avez-vous mis en place des collaborations avec des entreprises de la région Haut-de-France pour développer à des applications industrielles en lien avec vos projets de R&D ?

Projections : votre vision à venir de la recherche sur le biomimétisme

32. Selon vous, quels sont actuellement les freins au développement du biomimétisme dans la recherche ? (plusieurs choix possibles à hiérarchiser) :

- Approche interdisciplinaire / multidisciplinaire peu reconnue dans le milieu académique
- Faible collaboration entre les chercheurs (cloisonnement des activités de recherche des chercheurs)
- Scepticisme sur l'intérêt d'adopter une approche biomimétique (faible gain pour la recherche)
- Manque de connaissance en biologie (manque d'inspiration pour l'adoption d'une approche biomimétique)
- Autres, précisez : ...

33. Selon vous, quelle est la part des projets de recherche qui pourrait mobiliser du biomimétisme dans votre spécialité de recherche durant les 10 prochaines années ?

(liste déroulante)

Fourchettes possibles : < 5 %, 5 % - 10 % ; 10 % - 20 % ; 30 % - 40 % ; 40 % - 60 % ; 60 % - 80 % ; > 80 %

34. Avez-vous d'autres commentaires à ajouter ?

Merci pour votre participation

Si vous avez eu en charge des doctorants ou post-doctorants qui ne travaillent pas dans le domaine du biomimétisme, merci de ne pas les comptabiliser.

Si un doctorant était encadré par plusieurs chercheurs, ou ne consacrait pas l'ensemble de son temps de recherche au biomimétisme, indiquez la fraction de son temps consacré aux projets de biomimétisme (ex. 0,3).

24. Pouvez-vous identifier dans le tableau ci-dessous les organismes qui ont participé à financer vos projets de recherche mobilisant une approche bioinspirée, et une estimation de leur part dans le financement de vos activités de recherche ?

Organismes publics à destination de la recherche : ANR, ministère de l'Enseignement et de la Recherche...	
Organismes publics : ADEME, CNRS, AFD...	
Collectivités territoriales : région, département	
Fonds européens (Horizon Europe, projets Interreg...)	
Organismes privés regroupant des entreprises (pôles de compétitivité, clusters, syndicats professionnels, citez leurs secteurs d'activité : ...)	
Entreprises privées, citez leurs secteurs : ...	
Mécénat (fondations, associations)	
autres, précisez : ...	
TOTAL	100 %

Valorisation des travaux de recherche sur le biomimétisme

25. Indiquez le nombre de publications réalisées durant ces trois dernières années mobilisant du biomimétisme :

(matrice 1 seule colonne avec réponse textuelle)


- Dans des revues scientifiques à comité de lecture : ...
- Articles scientifiques sans relecture par des pairs (working papers, rapport, livre) : ...
- Présentation des travaux dans des colloques scientifiques : ...
- Autres, précisez : ...

26. Combien de brevets ont été déposés durant 3 dernières années en lien avec ces travaux ?

27. Vos travaux ont-ils mené ou vont-ils mener à la création d'une start-up/ entreprise ? (indiquez combien si oui)

28. Avez-vous identifié des secteurs d'activité qui pourraient bénéficier des connaissances que vous avez développées durant vos activités de recherche mobilisant une approche bioinspirée (p.ex., production électrique, agriculture, industrie chimique, transport routier, etc.)

29. Si OUI, indiquez le secteur d'activité de ces entreprises : ...



+33 (0)683 15 23 72
ameliecolle@vertigolab.eu
www.vertigolab.eu

Darwin Ecosystème
87 Quai de Queyries
33100 Bordeaux