



HAL
open science

Le biomimétisme : s'inspirer du vivant

Susana Fernandes, Julie Besombes, Simon Baert, Vincent Lefebvre

► To cite this version:

Susana Fernandes, Julie Besombes, Simon Baert, Vincent Lefebvre. Le biomimétisme : s'inspirer du vivant. *Ebullition(s) : le cahier illustré de la recherche - Ébullitions - Ébullition*, 2023, <https://revue-ebullitions.fr/articles/le-biomimetisme-s-inspirer-du-vivant>. 10.59655/ne52122995490 . hal-04946655

HAL Id: hal-04946655

<https://univ-pau.hal.science/hal-04946655v1>

Submitted on 13 Feb 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

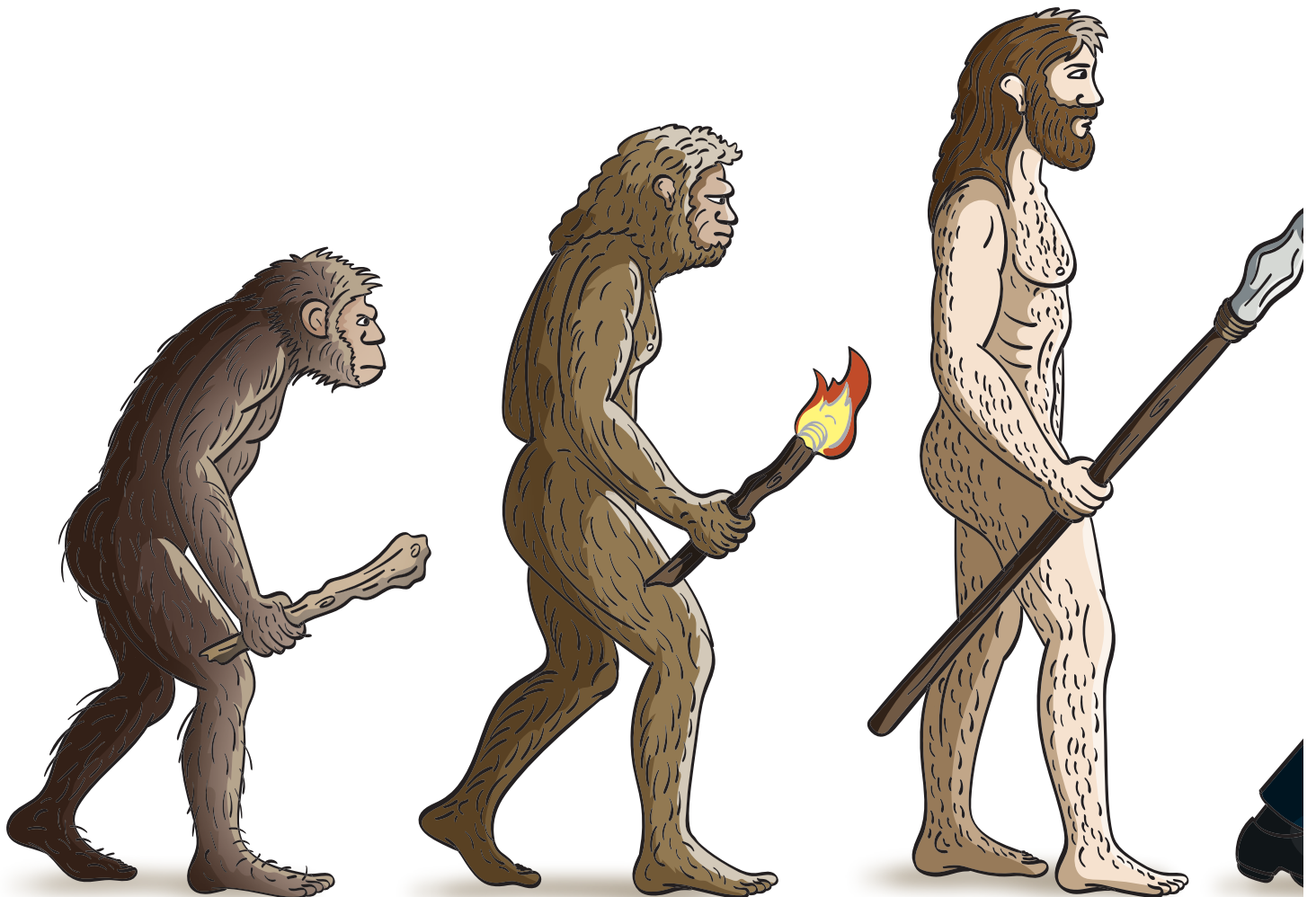
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Le biomimétisme : s'inspirer du *vivant*

L'observation est une étape à ne pas négliger en sciences et Susana Fernandes l'a bien compris. Curieuse de tempérament, c'est en observant la nature depuis son plus jeune âge qu'elle a commencé à s'intéresser au biomimétisme, et plus particulièrement au biomimétisme marin auquel elle voue sa carrière. Avec l'équipe de la Chaire de recherche partenariale Manta (MAriNe maTeriAls) qu'elle dirige, elle travaille sur le développement de nouveaux matériaux réduisant l'impact sur l'environnement marin. Pour atteindre ces objectifs, la chaire travaille sur deux approches : celle utilisant des matériaux des ressources d'origine marines, les biosourcés, et celle inspirés de modèles marins, les bio-inspirés.



Texte: **Susana Fernandes** (chaire MANTA à l'IPREM (UMR UPPA/CNRS).
Illustrations: **Plop & KanKr**

mots-clés: **bio-inspiration, biomimétisme marin, polymères naturels, biomatériaux, sous-produits**
keywords: **bio-inspiration, marine biomimicry, natural polymers, biomaterials, by-products**



« [...] SUSANA FERNANDES A PU CRÉER UN PARTENARIAT AVEC LE COMITÉ DES PÊCHES DES PYRÉNÉES-ATLANTIQUES AU PAYS BASQUE, AFIN D'UTILISER LES SOUS-PRODUITS ISSUS DE LA PÊCHE »



**Biomimétisme,
s'inspirer du vivant**
Sciences Ouvertes,
le podcast de la Recherche
à l'Université de Pau et des
Pays de l'Adour (UPPA)

LA BIO-INSPIRATION, UN NOUVEAU JARGON ?

Imiter la nature, voilà de quoi il est question. En observant les poissons, les méduses et toutes les autres formes de vie marine, Susana s'évertue avec son équipe à créer des biomatériaux qui posséderont les mêmes propriétés (ou très proches) que celles qu'elle peut observer dans la nature. Mais pour imiter cette nature il faut d'abord la comprendre.

C'est en se questionnant sur la manière dont les poissons arrivaient à se protéger naturellement des rayons ultraviolets (UV) du soleil (sans utiliser, comme nous, des vêtements ou des filtres solaires), qu'elle a remarqué qu'ils arrivaient à avoir naturellement des molécules présentes dans des algues marines et possédant des propriétés anti-UV. Bien que les chercheurs ne comprennent pas encore par quel mécanisme cela est possible, ils remarquent que l'on peut retrouver ces particules dans le mucus et dans les yeux des poissons. À partir de ces observations leur est venue l'idée d'extraire cette molécule directement des algues, afin de pouvoir l'utiliser dans la conception de matériaux, comme des gels ou des membranes, qui pourraient ainsi profiter de ces propriétés d'absorption des UV. Dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire de Biarritz, spécialisé dans les cosmétiques, ces nouveaux matériaux pourront être utilisés dans la formulation de leurs produits afin qu'ils bénéficient de nouvelles caractéristiques.

La bio-inspiration repose ici sur l'imitation de la compétence acquise par les poissons grâce aux algues.

DES MATÉRIAUX BIOSOURCÉS ISSUS DE SOUS-PRODUITS

Dans le règne animal, plusieurs espèces possèdent des caractéristiques similaires, susceptibles d'intéresser les chercheurs. Par exemple, l'étude au microscope des molécules qui composent la carapace des crustacés a permis d'établir qu'il existait des similitudes au niveau architectural avec celles qui composent nos propres tissus. C'est une molécule, la chitine, qui garantit l'organisation et la structure des carapaces, un peu de la même manière que la cellulose structure le tronc des arbres. Il est possible d'imaginer des applications pour des reconstructions osseuse en médecine réparatrice à partir de cette molécule, et le meilleur moyen d'en produire reste de la prélever directement dans les carapaces et coquilles qu'elle compose.

Les crustacés ne sont pas les seuls à posséder dans leur composition des éléments susceptibles d'intéresser les chercheurs. À partir de la peau des poissons, il est également possible de récupérer à la fois du collagène – une protéine présente également dans l'ensemble de nos propres cellules, assurant l'élasticité et la régénération de nos tissus, mais dont les quantités diminuent lorsque nous vieillissons –, et de l'acide hyaluronique, une molécule qui joue sur la multiplication et la migration des cellules. Ces différents éléments sont recherchés pour leur application en médecine ou leur utilisation dans des produits cosmétiques.

Mais pour atteindre les objectifs de l'équipe de recherche, il faut pouvoir se les procurer en réduisant l'impact l'environnemental. Pour cela, Susana Fernandes a pu créer un partenariat avec le comité des pêches des Pyrénées-Atlantiques au Pays basque, afin d'utiliser les sous-produits issus de la pêche. Le secteur halieutique, comme toute activité, amène la production de déchets. Écailles, peau, arêtes ou encore têtes de poissons ne sont pas utilisées lors de la consommation et finissent bien souvent par servir dans la production de farine alimentaire animale. En récupérant ces déchets pour en extraire les éléments souhaités à l'aide d'une chimie verte, limitant la production de substances néfastes, l'équipe de recherche a trouvé un nouveau moyen de les valoriser au maximum, pour créer de nouveaux biomatériaux, sans avoir à affecter de nouvelles populations d'organismes vivants.

Les recherches sur des éléments bio-inspirés et bio-sourcés ont vocation à être utilisées dans la conception de biomatériaux. Ces nouveaux matériaux trouvent leurs appli-

cations en médecine régénérative, mais qu'est-ce cela signifie concrètement ?

DE NOUVEAUX MATÉRIAUX POUR DE NOUVELLES APPLICATIONS

La médecine régénérative est un domaine de recherche médical visant à réparer ou régénérer des tissus du corps humain ayant subi des détériorations. Tissus, muqueuses, organes ou encore os, les applications sont aussi variées que les besoins en la matière.

S'il existe d'ores et déjà des techniques se fondant sur l'utilisation de matériaux d'origine bovine, porcine ou encore sur le corail, leur évolution et leur développement sont nécessaires afin de palier les différents risques qui peuvent survenir. Infections, rejets et inflammation avec œdèmes douloureux sont des complications classiques à la suite d'une intervention médicale. Le choix du bon matériau est ici déterminé par celui qui saura limiter au maximum ce type de complications. Parallèlement, dans le cas

TRÈS JEUNE, SUSANA DE MATOS FERNANDES EST ATTIRÉE PAR LE BIOMIMÉTISME !



«[...] LES MATÉRIAUX DÉVELOPPÉS GRÂCE
À CES TECHNIQUES N'APPORTERONT PAS
DE NOUVELLES CAPACITÉS À LEURS HÔTES,
MAIS ONT POUR FINALITÉ DE RESTAURER LES
FACULTÉS PHYSIQUES DES PATIENTS. »

d'implantation de matériaux, comme des fragments d'os, de céramiques ou de coraux, servant à palier des dégradations de matière chez un patient, l'objectif est de trouver un matériau qui pourra se résorber progressivement dans le temps. Ceci permettrait à l'os de se régénérer, et d'ainsi retrouver son état initial, c'est-à-dire avant l'apparition de la dégradation.

Dans cette perspective, un projet de recherche est développé depuis deux ans dans le cadre d'une thèse portée en cotutelle entre l'UPPA et l'université du Pays basque (EHU/UPV) en Espagne. L'objectif : développer des biomatériaux pour aider à la réparation d'un os de la mâchoire – l'os maxillaire – à base de

nanofibres de chitine. Loin d'une notion de transhumanisme, les matériaux développés grâce à ces techniques n'apporteront pas de nouvelles capacités à leurs hôtes, mais ont pour finalité de restaurer les facultés physiques des patients. Malgré cela, l'acceptation est parfois difficile pour ces derniers qui demandent de plus en plus des matériaux n'étant pas d'origine animale, et plus particulièrement d'animaux d'élevage industriel.

Dans ce contexte, les travaux de Susana et de son équipe, autour de la fabrication de biomatériaux issus de la valorisation des déchets de la pêche, prennent une nouvelle dimension dans le processus d'acceptation des matériaux de la part des patients.

BIBLIOGRAPHIE

S.C.M. Fernandes, A. Alonso-Varona, T. Palomares, V. Zubillaga, J. Labidi and V. Bulone Exploiting mycosporines as natural molecular sunscreens for the fabrication of UV-absorbing green materials, *ACS Applied Materials & Interfaces* (2015) 7 (30): 16558–16564; <http://dx.doi.org/10.1021/acsami.5b04064>.

C. McReynolds, A. Adrien, A. Patitpas, L. Rubatat, S. C. M. Fernandes, Double valorization for a discard - -chitin and calcium lactate production from the crab *Polydora henslowii* using a deep eutectic solvent approach, *Marine Drugs* (2022) 20, 717; <https://doi.org/10.3390/md20110717>

N. Castejón, M. Parailoux, A. Izdebska, R. Lobinski, S.C.M. Fernandes, Valorization of the Red Algae *Gelidium sesquipedale* by extracting a broad spectrum of minor compounds using green approaches. *Marine Drugs* (2021) 19, 574; <https://doi.org/10.3390/md19100574>

S. Olza, A. M. Salaberria, A. Alonso-Varona, A. Samanta, S. C. M. Fernandes, The role of nanochitin in biologically-active matrices for Tissue Engineering – Where do we stand? *Journal of Materials Chemistry B* (2023) Advance Article; <https://doi.org/10.1039/D3TB00583F>

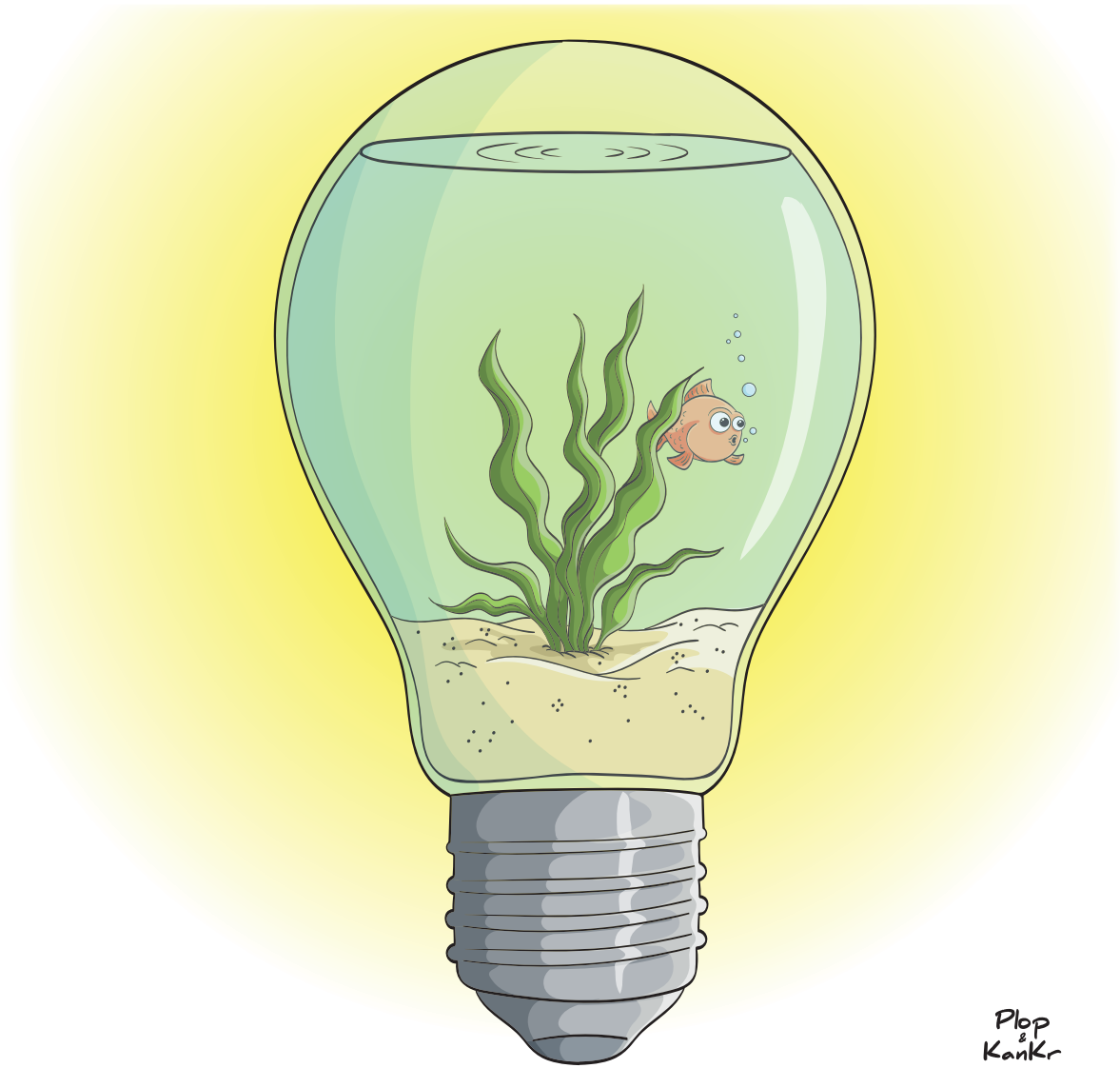
V. Zubillaga, A. Alonso-Varona, S.C.M. Fernandes, A.M. Salaberria, T. Palomares, Adipose-derived mesenchymal stem cell chondrospheroids cultured in hypoxia and a 3D porous chitosan/chitin nanocrystal scaffold as a platform for cartilage tissue engineering, *International Journal of Molecular Sciences* (2020) 21, 1004; <https://doi.org/10.3390/ijms21031004>

V. Zubillaga, A. M. Salaberria, T. Palomares, A. Alonso-Varona, S. Kootala, J. Labidi, S.C.M. Fernandes, Chitin nanofibers provide mechanical and topological cues to support growth of human adipose stem cells in chitosan bionanocomposite matrices, *Biomacromolecules* (2018) 19 (7), 3000–3012; <http://dx.doi.org/10.1021/acs.biomac.8b00570>

Colin McReynolds, Amandine Adrien, Natalia Castejon & Susana C. M. Fernandes (2022) Green in the deep blue: deep eutectic solvents as versatile systems for the processing of marine biomass, *Green Chemistry Letters and Reviews*, 15:2, 383-404, DOI: 10.1080/17518253.2022.2065890

Rut Fernández-Marín, Fabio Hernández-Ramos, Asier M. Salaberria, M^a. Ángeles Andrés, Jalel Labidi, Susana C.M. Fernandes, Eco-friendly isolation and characterization of nanochitin from different origins by microwave irradiation: Optimization using response surface methodology, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 186, 2021, pages 2018–226, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.048>.

Rut Fernández-Marín, Susana C.M. Fernandes, M^a Ángeles Andrés Sánchez, Jalel Labidi, Halochromic and antioxidant capacity of smart films of chitosan/chitin nanocrystals with curcuma oil and anthocyanins, *Food Hydrocolloids*, Volume 123, 2022, 107119, ISSN 0268-005X, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107119>.



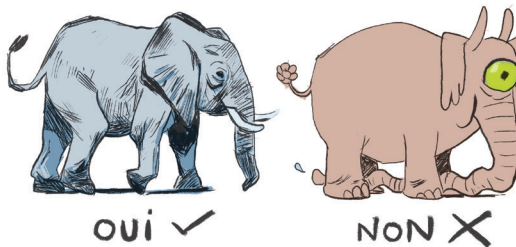
Plop
&
KaïKr

Biomimétisme : s'inspirer du vivant

LE BIOMIMÉTISME, DU GREC "IMITER LE VIVANT" EST UN PROCESSUS D'INNOVATION BASÉ SUR L'OBSERVATION DU VIVANT PAR L'HOMME, AFIN DE TROUVER DES SOLUTIONS DURABLES À NOS DÉFIS LES PLUS URGENTS.



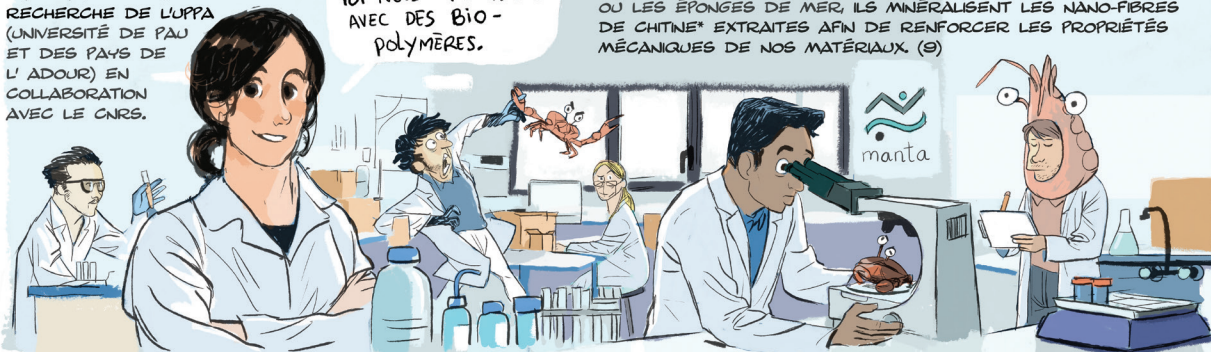
AVEC 3,8 MILLIARDS D'ANNÉES D'EXPÉRIENCE, LES PLANTES, LES ANIMAUX ET LES MICROBES SONT DEVENUS DES EXPERTS EN RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT. PAR LE JEU DE LA SÉLECTION NATURELLE : CE QUI FONCTIONNE RESTE, CE QUI NE FONCTIONNE PAS FINIT PAR DISPARAÎTRE.



SUSANA FERNANDES DIRIGE MANTA, UNE CHAIRE DE RECHERCHE DE L'UPPA (UNIVERSITÉ DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR) EN COLLABORATION AVEC LE CNRS.

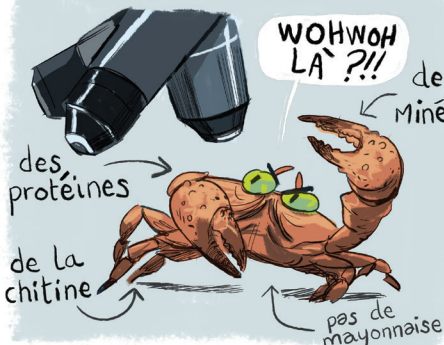
ICI NOUS TRAVAILLONS AVEC DES BIO-POLYMÈRES.

SUSANA ET SON ÉQUIPE TRAVAILLENT À IMITER L'ARCHITECTURE DE MATÉRIAUX BILOGIQUES COMME LA CARAPACE DE CRABE OU LES ÉPONGES DE MER. ILS MINÉRALISENT LES NANO-FIBRES DE CHITINE* EXTRAITES AFIN DE RENFORCER LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE NOS MATÉRIAUX. (9)



*LA CHITINE EST UNE MOLÉCULE NATURELLE QUE L'ON TROUVE DANS LES CARAPACES DES CRUSTACÉS ET DES MOLLUSQUES. ELLE EST AU CŒUR DES TRAVAUX DE RECHERCHE DE LA CHAIRE MANTA

QUE TROUVE-T-ON LORSQUE L'ON OBSERVE LA CARAPACE DU CRABE AU MICROSCOPE ?

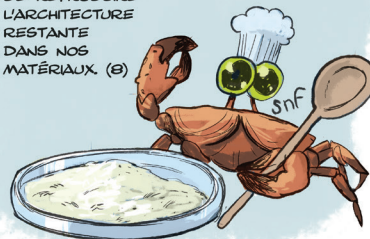


La recette de la chitine.

- 1 PRÉNEZ 200G DE RESTES DE CREVETTE. des Minéraux
- 2 PASSEZ AU MIXER. VRRRRR
- 3 DÉMINÉRALISEZ ET DÉPROTÉNEZ. DÉPROTÉNEZ. RETIREZ LES PROTÉINES.
- 4 SÉCHEZ AU FOUR THERMOSTAT 7. C'EST PRÊT !

CETTE OPÉRATION PERMET DE MIEUX OBSERVER L'ORGANISATION DES NANO-FIBRES DE CHITINE, ET D'ESSAYER DE REPRODUIRE L'ARCHITECTURE RESTANTE DANS NOS MATÉRIAUX. (9)

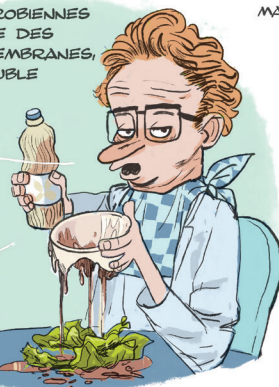
100% PURE ♥



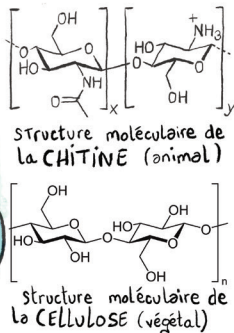
LE CHITOSANE EST UN POLYMÈRE DÉRIVÉ DE LA CHITINE, IL POSSÈDE DES PROPRIÉTÉS ANTI-MICROBIENNES ET EST UTILISÉ POUR FAIRE DES FILMS PLASTIQUES, DES MEMBRANES, DES ÉPONGES. IL EST SOLUBLE DANS L'ACIDE ACÉTIQUE.

ALORS, LE BOL EN CHITOSANE C'EST INTÉRESSANT...

TANT QU'ON NE MET PAS DE VINAIGRETTE DEDANS...



IL FAUT IMAGINER LA CHITINE COMME L'ÉQUIVALENT DE LA CELLULOSE MAIS DANS LE ROYAUME ANIMAL.



DES MATÉRIAUX JOUANT LE RÔLE "D'AGENTS DE RENFORT" QUI IMITENT LES PROPRIÉTÉS DE L'OS, DU CARTILAGE ET DE LA PEAU PEUVENT ÉGALEMENT ÊTRE PRODUITS À PARTIR DES NANO-FIBRES DE CHITINE. (5) (6)

TRÈS INTÉRESSANTS POUR LA MÉDECINE RÉGÉNÉRATIVE, ILS PEUVENT RÉSISTER À LA PRESSION MÉCANIQUE ET POSSÈDENT DES PROPRIÉTÉS ANTI-MICROBIENNES.

ON OBTIENT UN RÉSULTAT PROCHE DE LA CELLULOSE, AVEC DES PROPRIÉTÉS ENCORE PLUS VERTUEUSES !

UNE THÈSE EST MENÉE EN CO-TUTELLE ENTRE L'UPPA ET L'UNIVERSITÉ DE BILBAO POUR DÉVELOPPER DES BIOMATÉRIAUX POUR L'OS MAXILLAIRE À PARTIR DE COLLAGÈNE DE MÉDUSE, RENFORCÉ PAR DES NANO-FIBRES DE CHITINE.

Mon collagène est très bien toléré par les cellules humaines!



UN MATÉRIAU BIO-COMPATIBLE COMME LA CHITINE FINIRA IDÉALEMENT ABSORBÉ PAR L'OS POUR RETROUVER LE VOLUME INITIAL. L'INGÉNIEUR TISSULAIRE VENDRA ENSUITE S'ASSOCIER AU MATÉRIAU DES CELLULES DU PATIENT POUR FAVORISER LA FORMATION OSSEUSE.

LE CORPS DES GLOBULES ROUGES EST FIER DE VOUS SOLDAT!

JE N'AI FAIT QUE MON DEVOIR SERGENT.



LE BIOMATÉRIAU DE RÉFÉRENCE RESTE L'OS DU PATIENT.

IL CONTIENT LES CELLULES ET LES FACTEURS DE CROISSANCE IDÉAUX.

MAIS SON VOLUME EST LA MÊME.

SALVÁN CATROS SPÉCIALISTE EN CHIRURGIE OSSEUSE ET ORALE AU LABORATOIRE BIOTIS À L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX.

LES MATÉRIAUX D'ORIGINE NATURELLE ET SYNTHÉTIQUE UTILISÉS EN IMPLANTS ONT UN INCONVÉNIENT : RÉCUPÉRER DE L'OS AILLEURS DANS LA BOUCHE PEUT ENTRAÎNER UN CERTAIN NOMBRE DE COMPLICATIONS INFECTIEUSES ET DES RÉACTIONS INFLAMMATOIRES OU AVOIR DES TAUX DE RÉSORPTION DIFFICILEMENT CONTRÔLABLES.

GNE VEUX BIEN UN DOLIPRANE.



NICOLAS SUSPERREGU DU COMITÉ DES PÊCHES DU PAYS BASQUE TRAVAILLE EN PARTENARIAT AVEC SUSANA FERNANDES POUR DÉVELOPPER CES NOUVEAUX MATÉRIAUX. (2) (7)

CONTRAIREMENT À CE QUE PENSENT LA PLUPART DES GENS AUJOURD'HUI, LA PÊCHE PEUT ÊTRE VERTUEUSE.

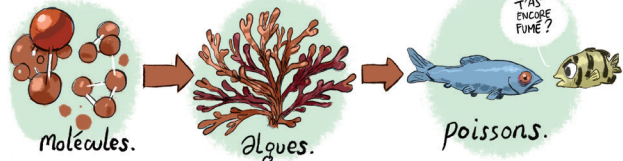
À PARTIR DU MOMENT OÙ ON SORT UN POISSON DE L'EAU, ON VA ESSAYER DE LE VALORISER AU MAXIMUM.



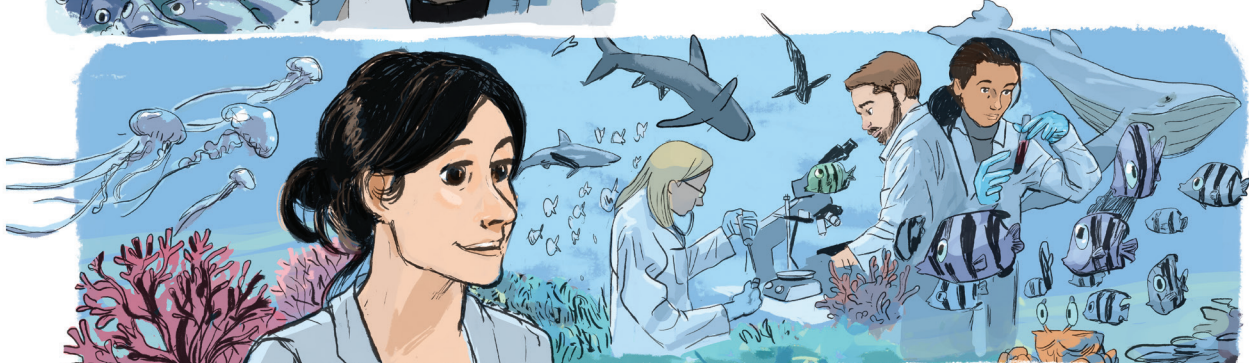
ELLES SONT FRAICHES MES Bio-MOLÉCULES



À PARTIR DE L'OBSERVATION DE LA VIE MARINE, SUSANA FERNANDES DÉVELOPPE DES MATÉRIAUX CONSTITUÉS DE MOLÉCULES SYNTHÉTISÉES PAR DES ALGUES. DANS LA NATURE, CES MOLÉCULES SONT AVALÉES PAR LES POISSONS QUI LES ASSIMilent DANS LEUR MUCUS ET LEURS YEUX, LEUR PERMETTANT PAR UN MÉCANISME BIOLOGIQUE, DE CRÉER LEUR PROPRE BARRIÈRE ANTI-UV. (1)



RESTITUER CE PRINCIPE PAR LA RECHERCHE PERMETTRAIT À TERME DE DÉVELOPPER DES GELS ET DES MEMBRANES ANTI-UV.



DANS NOTRE ÉQUIPE, NOUS PÉNSONS QUE COMPRENDRE LES STRUCTURES ET LES FONCTIONNALITÉS DES ORGANISMES MARINS, TOUT EN TROUVANT DES MOYENS DE LES REPRODUIRE, FOURNIRA DES INFORMATIONS SUSCEPTIBLES DE FAIRE AVANCER LA SCIENCE DES MATÉRIAUX POUR LES ANNÉES À VENIR.