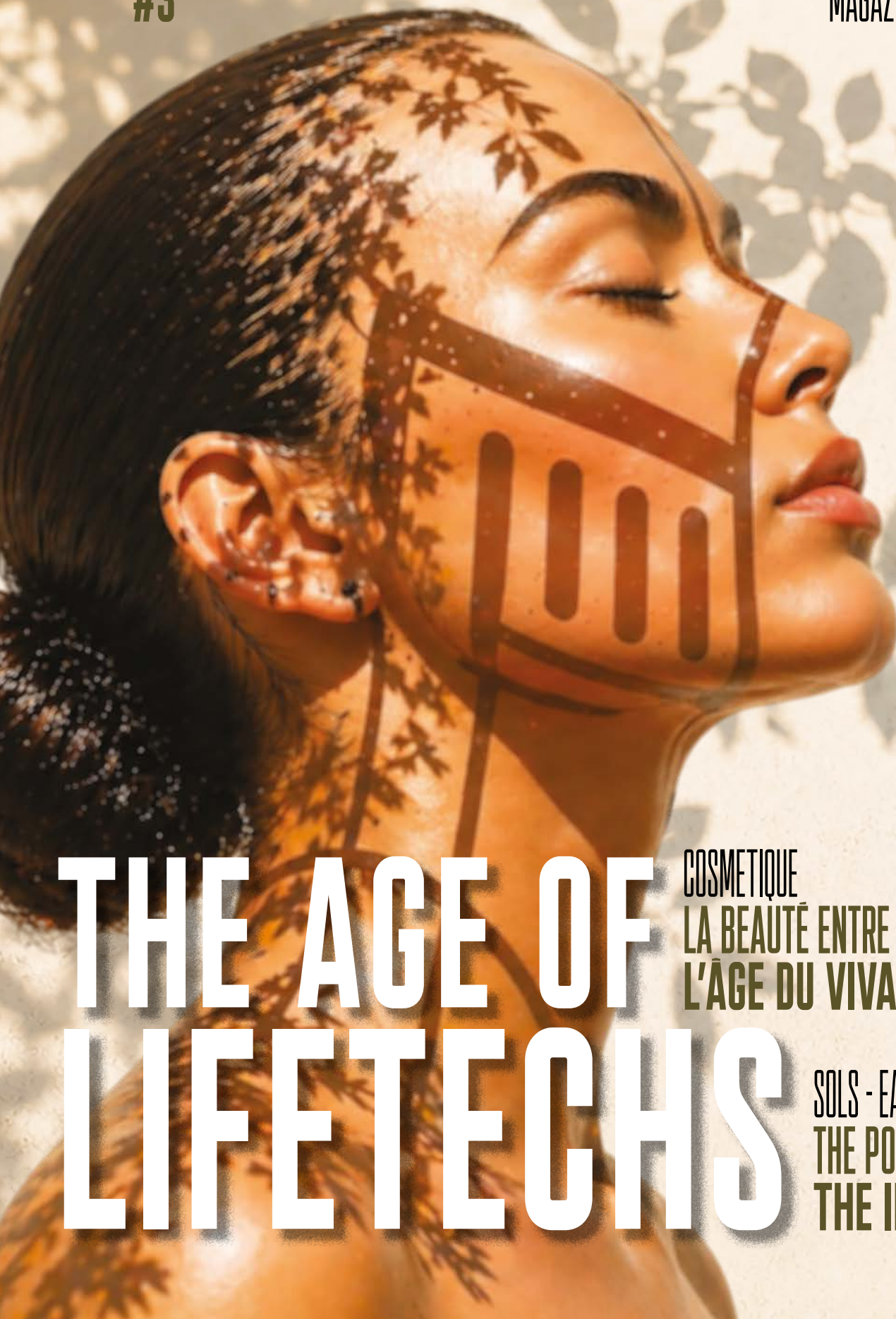


GREENTECH WORLD

#3

MAGAZINE



THE AGE OF LIFETECHS

COSMETIQUE
LA BEAUTÉ ENTRE DANS
L'ÂGE DU VIVANT

SOLS - EAU - SANTÉ
THE POWER OF
THE INVISIBLE



Depuis longtemps, notre priorité a été de réduire notre empreinte sur le vivant. Préserver les ressources. Protéger. Cette mission reste essentielle. Mais les équilibres du monde deviennent plus fragiles.

Les systèmes qui rendent la vie stable sont moins résilients.

Une responsabilité nouvelle apparaît.

Préserver les conditions mêmes qui permettent à la vie de tenir.

Il y a 30 ans nous avons défriché la voie des greentechs.

Aujourd'hui nous ouvrons...

THE AGE OF LIFETECHS

LA RESPONSABILITÉ NOUVELLE DE L'INNOVATION

COSMÉTIQUE
ENVIRONNEMENT
AGRICULTURE
AGRONOMIE
SANTÉ

GREENTECH GROUP

ÉDITORIAL



JEAN-YVES BERTHON,
FONDATEUR & PRÉSIDENT
GREENTECH

“La vie

Depuis plus de trente ans, Greentech explore le potentiel du vivant. Nous avons grandi avec une conviction simple : les biotechnologies peuvent contribuer à construire un monde plus respectueux de la nature. Cette conviction ne change pas. Mais le monde, lui, change profondément. Les équilibres qui rendent la vie possible deviennent plus fragiles. Les crises climatiques, environnementales et sanitaires nous rappellent chaque jour que préserver le vivant ne consiste plus seulement à limiter notre impact. Il devient nécessaire de renforcer sa capacité à durer.

Dans le même temps, notre compréhension du vivant progresse à une vitesse inédite. Les sciences convergent. Les frontières entre cosmétique, santé, nutrition, agriculture et environnement deviennent plus poreuses. L'intelligence artificielle accélère notre capacité à révéler des interactions que nous ne pouvions pas observer jusqu'alors.

Ce contexte bouscule la mission de l'innovation. Pendant longtemps, nous lui avons demandé de produire davantage, plus vite, avec moins de ressources. Aujourd'hui, nous lui demandons aussi de contribuer à préserver les conditions mêmes qui permettent à la vie de tenir. Nous entrons dans une époque où l'innovation ne sera plus seulement jugée sur ce qu'elle ajoute au monde, mais sur ce qu'elle permet au monde de préserver, de réparer et de régénérer; les grandes questions deviennent

à quoi sert l'innovation aujourd'hui ? Quelle est la responsabilité nouvelle de l'innovation ? Est-elle toujours corrélée à l'idée de progrès ? Il est clair que la création de valeur ne peut plus être dissociée de la préservation des conditions qui rendent cette valeur durablement possible. Cela dépasse largement Greentech. Cela concerne l'ensemble des acteurs du vivant, de la recherche à l'industrie, de la cosmétique à l'agriculture, de l'environnement à la santé.

Nous ne cherchons pas à imposer une idée. Nous cherchons à donner un langage commun à une transformation déjà en cours. Ce que nous appelons **The Age of LifeTechs** n'est pas un slogan. C'est une direction, un engagement, une responsabilité.

Nous ne disons pas : *“Voici notre nouvelle vision”*
Nous disons *“Le monde entre dans une ère nouvelle. Voici comment nous choisissons d'y répondre”*

Greentech est né dans un monde où il fallait “verdir” : réduire l'empreinte, substituer des molécules, améliorer des procédés. C'était indispensable. Les LifeTechs ne promettent pas seulement de “faire mieux”. Elles promettent de faire tenir : les peaux, les corps, les territoires, les équilibres biologiques. C'est réconcilier science & innovation, les gestes ancestraux, la performance et la sobriété, avec le bien commun.

Bienvenue dans ce nouveau numéro de notre magazine Greentech World.

“

La vie LIFE

PAGES 8

FOCUS : LA VIE

PAGES 16

ENTRETIEN AVEC OLIVIER HAMANT, BIOLOGISTE

PAGES 20

STEFANO MANCUSO, BOTANISTE

PAGES 22

AU CŒUR DE SPUN, Society for the Protection of Underground Networks, AVEC LES ÉQUIPES DE Toby Kiers, Lauréate en 2026 du prix Tyler pour la protection de l'environnement

PAGES 28

MICAELA TOSI, SPÉCIALISTE DE L'ÉCOLOGIE MICROBIENNE

PAGES 32

THE AGE OF LIFETECHS, LA RESPONSABILITÉ NOUVELLE DE L'INNOVATION

PAGES 40

THE POWER OF THE INVISIBLE - AGRONOMIE, EAU, SANTÉ, ENVIRONNEMENT - PAR GREENCELL

PAGES 52

COSMÉTIQUE : LA BEAUTÉ DANS L'ÂGE DU VIVANT

“D’une si simple origine, une multitude infinie de belles et merveilleuses formes ont et continuent d’évoluer”

Charles Darwin



GREENTECH WORLD MAGAZINE

GREENTECH SA / BIOPÔLE CLERMONT-LIMAGNE
63360 SAINT BEAUZIRE, FRANCE

Directeur de la publication Jean-Yves Berthon

Conception Bruno Benchetrit

Production Bruno Benchetrit & Douglas Benchetrit

www.2be.company + Masquerade Company

Textes Bruno Benchetrit, Douglas Benchetrit, interviewés.

Merci à Laurie Cariou (Greencell) Illustration Adobe Stock / Getty / Greentech

Printed in France

© GREENTECH 2027 - ALL RIGHTS RESERVED - NO PART OF THIS PUBLICATION
MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS,
ELECTRONIC OR OTHERWISE, WITHOUT PRIOR CONSENT OF THE PUBLISHER

www.greentech-group.com

QU'EST-CE QUE LA VIE ?

**"LA VIE" N'A PAS
DE DEFINITION
SCIENTIFIQUE
STABLE**

La biologie n'a toujours pas de définition consensuelle du vivant. En 2011, un inventaire scientifique a recensé pas moins de 123 définitions différentes de la vie proposées dans la littérature académique, sans qu'aucune n'ait fait consensus. Même la NASA, qui doit pourtant décider ce qu'elle cherche avant d'envoyer une sonde sur Mars, s'est résolue en 1994 à une définition volontairement modeste : « un système chimique auto-entretenu capable d'évolution darwinienne ». Une formule assez large pour exclure les virus, qui ne s'auto-entretiennent pas, et suffisamment ouverte pour, en théorie, ne pas exclure certaines intelligences artificielles.

Ce flou n'est pas un échec de la science. C'est peut-être le signe que la vie résiste, par nature, à être enfermée dans une phrase, et qu'il faudra apprendre à travailler avec elle sans jamais tout à fait la saisir.

Si même les biologistes ne s'accordent pas sur ce qu'est la vie, la modestie s'impose avant de prétendre la « gérer » ou l'« optimiser »...

PEUT-ON RÉPARER À LA VITESSE À LAQUELLE ON DEGRADE ?

LE VIVANT EST-IL UNE RESSOURCE ?

Poser la question ainsi, c'est déjà avoir choisi un camp. Dans l'histoire industrielle récente, le vivant a surtout été traité comme un stock : une forêt vaut ce qu'elle vaut en mètres cubes de bois, un sol vaut ce qu'il produit en tonnes de céréales, une rivière vaut ce qu'elle transporte en eau utilisable. Cette logique a permis des siècles de développement matériel. Elle bute aujourd'hui sur une évidence : un stock qu'on prélève plus vite qu'il ne se reconstitue finit toujours par s'épuiser, quelle que soit la sophistication des outils qui servent à le prélever.

Peut-on réparer à la vitesse à laquelle on a dégradé ?

Les agences internationales qui pilotent les grands programmes de restauration écologique reconnaissent elles-mêmes un problème : la remise en état d'un environnement dégradé est presque toujours un processus lent, qui se compte en années voire en décennies, quand la dégradation elle-même peut se produire en quelques saisons. La Décennie des Nations unies pour la restauration des écosystèmes, lancée en 2021, vise 2030 pour des résultats que ses propres promoteurs présentent déjà comme partiels. L'asymétrie est claire : dégrader va toujours plus vite que régénérer, et toute technologie qui prétend « réparer » le vivant doit d'abord se mesurer à cette asymétrie plutôt que la nier.

VIE



SYSTÈMES
INTERDÉPENDANCES
ÉQUILIBRES
RELATIONS
PLANÈTE



VOUS ÊTES À MOITIÉ MICROBIEN

Le corps humain contient environ autant de cellules microbiennes que de cellules humaines (le ratio 10:1 longtemps cité est aujourd'hui révisé à environ 1:1). La frontière entre «soi» et «environnement» est plus poreuse qu'on ne le pense !

«DARK MATTER» MICROBIEN

Le même vertige s'observe sous nos pieds, à une tout autre échelle. Un siècle et demi après l'invention des techniques de culture en microbiologie, l'écrasante majorité des micro-organismes du sol échappe encore à ces méthodes : on estime qu'environ 99 % des espèces microbiennes présentes dans un sol ne peuvent tout simplement pas être cultivées en laboratoire dans des conditions classiques. Les microbiologistes appellent ça la « matière noire » microbienne, en écho à celle des astrophysiciens : on sait qu'elle est là, on en mesure les effets, mais on ne parvient pas encore à l'isoler pour l'étudier...

« Ce qu'on trouve chez les êtres vivants, c'est beaucoup de contre-performances : beaucoup de redondances, beaucoup d'incohérences, beaucoup de lenteur aussi. »

Olivier Hamant

Entretien avec Cédric Polère,
Millénaire 3 (Métropole de Lyon), 3 mai 2024

« La vie crée les conditions propices à la vie. Elle enrichit les sols, elle purifie l'air, elle purifie l'eau... »

Janine Benyus

Transcription de sa conférence TED, 2005

POLYPHONIE : C'EST QUOI LA VIE ?

« Les écosystèmes souterrains ne sont pas "seulement de la terre", mais là où la vie prend naissance. [...] C'est un univers tellement vivant, mais humble et silencieux. »

Toby Kiers

Entretien avec Abhishyant Kidangoor, *Mongabay*, février 2026

« Les animaux concentrent certaines fonctions spécifiques au sein de leurs organes. Les plantes, elles, répartissent tout dans leur corps entier, y compris l'intelligence. »

Stefano Mancuso

Entretien avec Killian Fox, *The Observer* (The Guardian), 15 avril 2023

« Nous ne devrions plus raisonner en termes d'individus, ni même en termes d'espèces individuelles, mais en termes de relations. »

Toby Kiers

Entretien avec Paul Q. de Vries, *Re-Generation*, février 2026

« La métamorphose est la continuité entre tous les vivants présents, passés et futurs : ils partagent tous et toutes une seule et même vie. [...] Chacun de nous est la vie des autres : c'est cela la métamorphose »

Emanuele Coccia

Entretien avec Sonya Faure et Anastasia Vécrin, *Libération*, 13 mars 2020a

« Il y a une sagesse inhérente aux interactions de la nature, à ses accords silencieux et à sa quête d'équilibre. »

Suzanne Simard

Introduction de son livre *Finding the Mother Tree*, 2021

« L'épanouissement de l'humanité dépend de celui de la planète. »

Kate Raworth

Doughnut Economics, chapitre 1, 2017.

« Les champignons nous rappellent avec force les liens étroits qui sous-tendent toute forme de vie. »

Merlin Sheldrake

UC Santa Cruz News, 14 avril 2026

« Quand la civilisation n'est pas soin, elle n'est rien. »

Cynthia Fleury

Le soin est un humanisme
(Tracts Gallimard n° 6, 2019)



Olivier Hamant est biologiste, directeur de recherche à l'Inrae et directeur de l'Institut Michel-Serres à l'ENS de Lyon. Ses travaux portent sur la manière dont les plantes perçoivent et intègrent les contraintes mécaniques pour se développer. Ce terrain d'observation l'a mené, par ricochet, à une thèse plus large sur le fonctionnement du vivant en général.

Sa proposition centrale tient en une phrase qu'il répète volontiers en conférence : le vivant est robuste précisément parce qu'il n'est pas performant. Une cellule, un organisme, un écosystème ne cherchent jamais l'optimum. Contre-intuitivement, ils cultivent la redondance, l'hétérogénéité, une forme de bruit permanent qui leur permet d'absorber l'imprévu. C'est cette logique, à rebours du culte contemporain de l'efficacité et du contrôle, qu'il a développée dans plusieurs essais, comme *La Troisième Voie du vivant* (Odile Jacob, 2023), ou *Antidote au culte de la performance* et *De l'incohérence* (Odile Jacob, 2024).



Biologiste des plantes, Olivier Hamant s'est fait en quelques années l'un des contradicteurs les plus écoutés du culte de l'efficacité.

ÉLOGE DE LA CONTRE- PERFORMANCE Sur Olivier Hamant

Le biologiste a passé l'essentiel de sa carrière à observer comment les cellules végétales construisent des formes, et il en a rapporté une idée qui étonne volontiers les salles de réunion : « [...] la meilleure image, c'est celle de la plante : elle croît en freinant. La plante pousse grâce à un apport d'eau, à une pression hydraulique. Avec la photosynthèse, avec le soleil, elle fabrique des fibres de cellulose. Et plus la plante pousse, plus elle freine parce qu'elle se rigidifie. En fait, elle synthétise la cellulose pour ralentir sa croissance. »

Robustes parce que pas performants

Tout commence par un désaccord sur les mots, que Hamant prend soin de définir avant de les opposer, parce que la performance, dans le vocabulaire de l'entreprise, a fini par désigner à peu près tout ce

qui est désirable : « La performance, c'est la somme de l'efficacité et de l'efficience. L'efficacité consiste à atteindre son objectif, et l'efficience à le faire avec le moins de moyens possible. »

Or le vivant, quand on l'observe sans chercher à y retrouver nos propres obsessions, se révèle d'une inefficacité déconcertante, et c'est précisément cette inefficacité qui lui a permis de se perpétuer : « Un bon exemple est donné par la photosynthèse, dont le rendement énergétique est très peu élevé. Pourquoi existe-t-elle alors depuis des milliards d'années ? La réponse, c'est qu'elle permet aux organismes photosynthétiques, et donc aux plantes, de garder de grandes marges de manœuvre, pour gérer des fluctuations lumineuses et biologiques. Ce qu'on trouve chez les êtres vivants, c'est beaucoup de contre-performances : beaucoup de redondances, beaucoup d'incohérences, beaucoup de lenteur

aussi. Ils ne misent pas sur la performance, ils font de la robustesse, pour maintenir le système stable malgré les fluctuations. Ils sont robustes justement parce qu'ils ne sont pas performants. »

Un monde qui craque

La leçon ne resterait qu'une curiosité de botaniste si le monde dans lequel nous entrons n'était pas, selon tous les rapports scientifiques qu'il cite, un monde de fluctuations, où la performance cesse d'être un avantage, et devient un risque : « Dans un monde instable sur tous les plans, social, géopolitique, climatique, faire de la performance revient à s'enfermer dans une voie étroite, c'est suicidaire. » Son dernier livre, *Chroniques d'un monde qui craque* (Odile Jacob, 2026), en dresse l'inventaire en 86 chroniques, qui vont de la panne informatique mondiale provoquée par CrowdStrike à l'inauguration de l'Icon of the Seas, le plus gros paquebot de croisière du monde, en passant par les pénuries de médicaments, autant de symptômes d'un même système tendu à l'extrême, où le moindre grain de sable suffirait à tout enrayer : « On l'a vu en mars 2021 : un seul porte-conteneurs échoué dans le canal de Suez a paralysé le commerce mondial pendant une semaine. »

Le diagnostic, chez lui, prend volontiers le vocabulaire de la santé au travail, et ce n'est pas un hasard : « On est en burn-out planétaire et les solutions qu'on met en face, c'est d'augmenter la performance. » Le remède qu'Hamant propose n'a rien d'un renoncement, mais il oblige à regarder autrement tout ce que les tableaux de bord classent dans la colonne des pertes : « Pour être robuste, il faut des marges de manœuvre, du jeu dans les rouages, donc des redondances, de la diversité, des lenteurs, de l'incohérence, des contre-performances qui sont au service de cette robustesse. »

CE QUI DOIT, OU NON, DEVENIR UNE TECHNOLOGIE

On aurait tort de ranger Olivier Hamant parmi les nostalgiques d'un monde sans machines, et il prend soin de retourner l'accusation, en faisant observer que c'est la course à la performance qui dévore la technique : « [...] le monde de la performance est paradoxalement technophobe, voire technophage. Les technologies dites « performantes » écrasent les précédentes et éloignent les citoyens de leur compréhension. »

La critique devient plus intéressante (et plus utile pour une industrie qui travaille avec le vivant), lorsqu'il s'agit de biomimétisme, où Olivier Hamant distingue plusieurs usages : « Ce que je critique, c'est plutôt une partie du biomimétisme qui extrait des performances du vivant pour « augmenter » les solutions techniques humaines. Dans ce cas-là, on fait plutôt l'inverse d'une solution fondée sur la nature : on plaque la technique humaine sur le vivant, en le réduisant à une machine. Mais, heureusement, le biomimétisme est en profonde mutation actuellement, et cela aboutit à un regard nettement plus équilibré sur le vivant, et une réelle inspiration pour la société. » La frontière, autrement dit, ne passe pas entre ce qui est naturel et ce qui est technique, mais entre ce qui emprunte au vivant sa logique et ce qui ne lui prend que ses rendements.

Se méfier du mot « optimiser »

Le même raisonnement s'applique à l'intelligence artificielle, dont il ne nie pas la place mais dont il renverse l'échelle de valeur, avec une formule qui a de quoi faire sourire les directions informatiques : « [...] les IA les plus pertinentes, sont les IA les moins performantes. Parce que les IA les moins performantes sont celles qui obligent à une hybridation avec les humains, à une vérification et une validation humaine. » Ce que l'on gagne en vitesse, on risque de

le perdre en compréhension, et le contrôle que promettent les systèmes les plus sophistiqués finit par fabriquer la fragilité qu'il prétendait conjurer, d'où ce conseil d'hygiène intellectuelle qu'il donne à qui veut l'entendre : « Mais quand vous voyez le mot optimiser quelque part, il faut vous demander : "Qu'est-ce que je fragilise ?" »

Une autre idée de l'entreprise

C'est sans doute auprès des entreprises que la pensée d'Olivier Hamant a trouvé ces dernières années l'écho le plus inattendu, peut-être parce qu'il ne leur demande pas de renoncer à produire, mais de regarder d'un œil neuf ce qu'elles s'acharnent à supprimer. Sa première recommandation tient de l'exercice d'inventaire : « D'abord, les dirigeants doivent arrêter de voir le monde avec un fichier Excel de coûts et de recettes devant les yeux. [...] on peut organiser ce que j'appelle des "audits de robustesse" : il s'agit de lister les contre-performances de l'entreprise et, au lieu de les supprimer, d'identifier en quoi elles servent la robustesse de l'entreprise. »

Cette logique, appliquée aux chaînes de valeur, aboutit à une conclusion qui contredit trente ans de rationalisation des achats et de flux tendus, et que les pénuries récentes ont rendue moins théorique qu'elle n'en avait l'air : « le maillon faible dans un monde instable, c'est le maillon le plus performant parce qu'il est aussi le plus fragile ».



Chroniques d'un monde qui craque
(Odile Jacob, 2026)

Le dernier livre d'Olivier Hamant part d'un inventaire des ruptures qui ponctuent l'actualité récente : pénuries de médicaments, pannes informatiques planétaires, paquebots gigantesques, empreinte carbone du numérique... et montre qu'elles procèdent toutes de la même cause. Un monde poussé à l'hyper-optimisation, où chaque gain de performance se paie en fragilité accumulée. Plutôt que d'opposer à ce constat une nouvelle doctrine de sécurité, Hamant propose 86 « chroniques », glanées dans l'agriculture, l'économie, la santé ou l'organisation sociale, pour retrouver ce qu'il appelle une « sérénité systémique », c'est-à-dire une manière de tenir dans la durée en acceptant l'incertitude plutôt qu'en cherchant à l'éliminer.

LE PLUS VIEUX LABORATOIRE DU MONDE

Pour le botaniste florentin Stefano Mancuso, les plantes ont résolu bien avant nous la plupart des problèmes que nos technologies peinent encore à affronter. Encore faut-il savoir ce qu'on leur emprunte, et ce qu'on doit leur laisser.

Sur le travail de Stefano Mancuso

Une formule à prendre au mot

La formule circule depuis que la biologiste américaine Janine Benyus l'a popularisée en 1997 dans son livre fondateur sur le biomimétisme. Le vivant aurait derrière lui près de quatre milliards d'années de recherche et développement, et ce qui nous entoure serait l'ensemble des prototypes qui ont survécu aux essais, les échecs ayant fini, selon son mot, à l'état de fossiles. Appliquée aux plantes, elle mérite une petite correction, que les botanistes ne manquent jamais de faire. Les premières plantes terrestres ne sont apparues qu'il y a quelque 470 millions d'années, et si la photosynthèse est bien plus ancienne, inventée par des bactéries plus de deux milliards d'années avant elles, aucune fougère n'était là pour assister aux débuts. Mais chaque brin d'herbe hérite de cette histoire, du premier métabolisme aux alliances nouées avec les champignons du sol, et porte en soi les solutions accumulées par une lignée (la R&D primitive, pourrait-on dire) qui ne s'est jamais interrompue.

Ce que Stefano Mancuso a vu

Professeur à l'université de Florence et fondateur, en 2005, du Laboratoire international de neurobiologie végétale, Stefano Mancuso a bâti son œuvre sur un trait que nous avons longtemps pris pour une faiblesse : une plante ne peut pas fuir. Là où l'animal règle ses problèmes en se déplaçant, vers la nourriture ou loin du danger, la plante doit tout résoudre sur place, et cette contrainte a façonné son architecture. « Elle n'a ni cerveau, ni cœur, ni poumons, aucun organe unique dont la perte lui serait fatale », dit Mancuso. Les fonctions que l'animal concentre, elle les répartit dans tout son corps, si bien qu'on peut lui retirer l'essentiel de sa masse sans la tuer. Elle perçoit la lumière,

la gravité, les signaux chimiques, l'humidité, les vibrations... une vingtaine de sens selon le compte qu'en fait Mancuso, et ses racines explorent le sol comme un réseau de milliers de pointes qui choisissent chacune, localement,

« Les plantes ont quatre milliards d'années de recherche et développement »

la direction à prendre. Rien de marginal là-dedans : d'après le recensement publié en 2018 dans la revue PNAS, les plantes représentent environ 80 % de la biomasse de la planète. Cette manière d'être au monde, immobile, modulaire, est donc la stratégie la plus répandue du vivant.

De l'observation à l'objet

Mancuso ne s'est jamais contenté de décrire, et plusieurs projets nés autour de son laboratoire ont tenté de traduire ces observations en objets. Il y a eu le Plantoïde, un robot développé à partir de 2012 à l'Institut italien de technologie par l'équipe de Barbara Mazzolai. Ses racines artificielles progressent dans le sol en cherchant ses fissures plutôt qu'en le forçant, pour y mesurer l'eau ou les polluants. Il y a eu aussi la Jellyfish Barge, une serre flottante imaginée par Mancuso et présentée à l'Exposition universelle de Milan en 2015 : elle dessale l'eau de mer à l'énergie

solaire pour faire pousser des légumes sans terre arable ni eau douce. Dans les deux cas, la technologie arrive en second. On a d'abord regardé comment une racine avance et comment une plante fait beaucoup avec presque rien, et l'objet n'est venu qu'ensuite, comme une traduction plutôt que comme une invention.

Copier la solution, ou comprendre la logique ?

C'est ici que la belle formule de la R&D appelle un peu de prudence. À force de voir le vivant comme un laboratoire, on risque de le traiter comme un catalogue, un stock de « brevets en attente » qu'il suffirait de piller, une fonction après l'autre. Au risque de reproduire ainsi, avec des moyens plus fins, la logique d'extraction dont on prétendait sortir.

Mancuso lui-même n'échappe pas tout à fait à la tentation lorsqu'il rêve à voix haute d'une photosynthèse artificielle qui réglerait tous nos problèmes d'énergie. Mais la leçon la plus profonde de son travail est ailleurs. Ce que les plantes nous apprennent, ce n'est pas d'abord une collection de solutions techniques, c'est une manière de s'organiser sous contrainte : sans centre, avec des doublons, en dépensant peu, et en restant capable de perdre une partie de soi sans s'effondrer. Imiter une plante, dit-il en substance, c'est d'abord produire et consommer le moins possible, ce qui ressemble moins à un programme d'innovation qu'à une discipline.

Bien sûr ses travaux ont trouvé des contradicteurs. En 2019, un groupe de biologistes emmené par Lincoln Taiz contestait dans Trends in Plant Science l'usage même des mots « intelligence » et « neurobiologie » pour des organismes dépourvus de neurones, en y voyant un anthropomorphisme qui brouille l'objectivité du chercheur. Le débat n'est pas tranché, et il n'a pas besoin de l'être pour être utile, car il oblige à préciser ce qu'on cherche à copier (un comportement, un mécanisme) et à admettre que la compréhension doit précéder l'intervention.

**Stefano
Mancuso
en quelques
reperes**

Né en 1965 à Catanzaro, en Calabre, Stefano Mancuso est professeur à l'université de Florence, où il a fondé en 2005 le Laboratoire international de neurobiologie végétale (LINV). Il fait connaître au grand public l'idée d'une intelligence des plantes, notamment depuis sa conférence TED de 2010. Ses livres sont traduits en français chez Albin Michel : L'Intelligence des plantes (avec Alessandra Viola, 2018), La Révolution des plantes (2019), Nous les plantes (2021), L'Incroyable Voyage des plantes (2022) et, tout récemment, La Cité vivante (septembre 2026), où il imagine des villes qui fonctionneraient comme des écosystèmes végétaux.

**La technologie
arrive en second :
l'objet vient comme
une traduction
plutôt que comme
une invention.**



SPUN

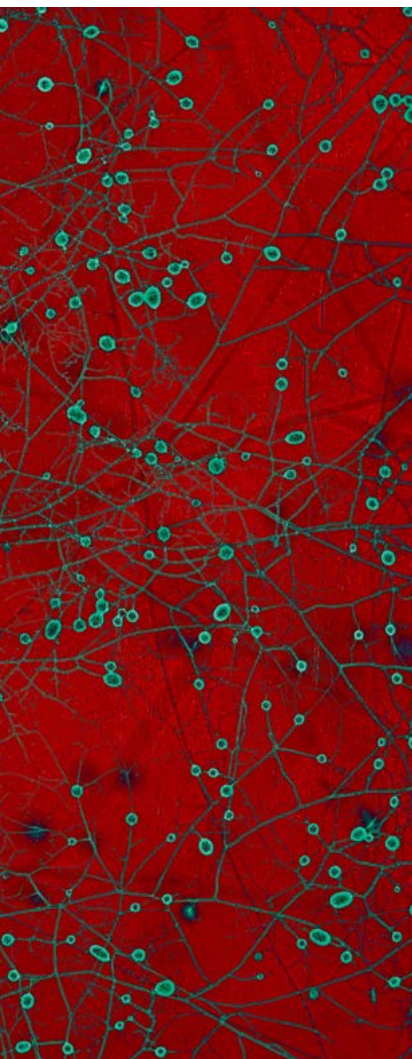
SOCIETY FOR THE PROTECTION
OF UNDERGROUND NETWORKS

UN LABO
POUR
CARTO
GRAPHIER
L'INVISIBLE

LABORATOIRE SPUN

Sous nos pieds s'étend un continent que personne n'a jamais vu en entier. Un réseau de filaments fongiques si dense qu'il faudrait, mis bout à bout, traverser des milliards de fois la distance qui sépare la Terre du Soleil. Il capte le carbone, nourrit les racines, tient les sols en place, et pourtant il figure à peine sur une carte. C'est ce continent que l'organisation SPUN a entrepris d'explorer, échantillon après échantillon, pour donner enfin un visage à ce qui, depuis toujours, travaillait dans l'ombre.

SPUN



Champignons mycorhiziens observés au microscope Morison à l'Institut AMOLF des matériaux complexes d'Amsterdam. Les structures circulaires sont des spores.

Tomás Munita

Une société savante pour un règne oublié

SPUN, Society for the Protection of Underground Networks, est né en 2021 d'un constat presque embarrassant : on protège les forêts, les océans, les zones humides, mais presque jamais ce qui les fait tenir depuis le sol. L'organisation a été fondée par la biologiste évolutionniste Toby Kiers, de l'université libre d'Amsterdam, entourée d'un conseil scientifique où l'on croise Merlin Sheldrake, Michael Pollan ou Paul Hawken, et longtemps Jane Goodall elle-même. Son ambition tient en une phrase que Kiers répète volontiers : cartographier et protéger les réseaux mycorhiziens qui régulent le climat et les écosystèmes de la planète, avant qu'ils ne disparaissent sans qu'on ait eu le temps de les comprendre.

Les champignons mycorhiziens ne sont pas des champignons au sens où on l'entend d'ordinaire, ceux qu'on cueille en forêt. Ce sont des filaments microscopiques, les hyphes, qui s'enroulent autour des racines ou s'y infiltrent directement pour former une association vieille de plusieurs centaines de millions d'années : la plante donne du sucre, le champignon donne accès à l'eau et aux nutriments du sol. Cette alliance est si ancienne et si généralisée que plus de 80 % des espèces végétales en dépendent aujourd'hui pour survivre.

Un réseau grand comme cinq fois l'humanité

Les chiffres, quand on commence à les aligner, donnent le vertige. Les seuls champignons mycorhiziens à arbuscules, qui colonisent la majorité des plantes cultivées et des prairies, représenteraient à eux seuls environ 110 quadrillions de kilomètres de filaments dans les couches superficielles des sols du globe, soit à peu près un milliard de fois la distance Terre-Soleil. Leur masse totale équivaldrait à cinq fois celle de l'ensemble de l'humanité. Rien qu'en

Amazonie ou dans les prairies sauvages, qui abritent près de 40 % de ce réseau, cette matière invisible travaille en continu à capter le carbone que les plantes lui transmettent, jusqu'à 13 milliards de tonnes de CO₂ chaque année selon les estimations de l'équipe.

Ce n'est pas une curiosité de laboratoire. C'est un pan entier du système climatique terrestre qui reste, à ce jour, largement absent des politiques de conservation : plus de 90 % des écosystèmes mycorhiziens de la planète ne bénéficient d'aucune protection. On ne protège pas ce qu'on ne voit pas, et c'est précisément ce défaut de visibilité que SPUN a choisi d'attaquer en premier.

Aller chercher la donnée là où personne ne regarde

Pour combler ce vide, l'organisation a lancé une série d'expéditions dans des régions où les sols n'avaient jamais été échantillonnés à cette échelle : Équateur, Colombie, Ghana, Brésil, Alaska, et une dizaine d'autres territoires depuis. Le programme Underground Explorers a permis de financer 92 chercheurs dans 43 pays, dont 82 % originaires du Sud global, souvent les mieux placés pour accéder à des sols que la recherche occidentale n'avait tout simplement jamais atteints. Reste que la tâche est immense : en 2025, plus de 70 % de certains écosystèmes fongiques souterrains n'avaient toujours pas fait l'objet du moindre relevé.

C'est cette masse de données de terrain, collectée patiemment sur tous les continents, qui allait bientôt permettre à SPUN de franchir une étape que personne n'avait tentée avant elle : produire la première carte mondiale de la biodiversité fongique souterraine.

Plus de 90 % des écosystèmes mycorhiziens de la planète ne bénéficient d'aucune protection.

« Nous pouvons commencer à travailler avec les champignons pour infléchir la trajectoire des crises climatiques et de biodiversité. »

Toby Kiers, Lauréate en 2026 du prix Tyler pour la protection de l'environnement



Les scientifiques Toby Kiers et Merlin Sheldrake prélèvent des échantillons de sol dans les montagnes du Bhoutan.

Tomás Munita

LA PREMIÈRE CARTE DE LA BIODIVERSITÉ FONGIQUE

Neuf carottes de sol à la fois

La méthode de SPUN tient à la fois de l'expédition scientifique classique et d'une forme d'artisanat statistique. Sur chaque point géolocalisé, l'équipe prélève neuf carottes de sol selon un protocole standardisé, qu'il faille pour cela crapahuter dans une forêt équatoriale ou creuser dans le permafrost. L'ADN environnemental que ces échantillons contiennent est ensuite extrait, séquencé, et passé au crible de pipelines bio-informatiques capables d'identifier, dans ce mélange invisible, la signature génétique de milliers d'espèces fongiques différentes.

L'équipe s'est concentrée sur deux grandes familles de champignons mycorhiziens. Les champignons arbusculaires, associés à environ 80 % des espèces végétales, dominent les forêts tropicales, les prairies et les terres cultivées. Les champignons ectomycorhiziens, eux, ne s'associent qu'à environ 2 % des espèces végétales, mais ces dernières représentent plus du quart de la végétation mondiale : ce sont elles qui dominent les grandes forêts des hautes latitudes.

Quand l'apprentissage automatique prend le relais

Un relevé de terrain, aussi minutieux soit-il, ne couvrira jamais qu'une fraction du globe. C'est là qu'intervient le second temps du travail : plus de 2,8 milliards de séquences d'ADN fongique, collectées dans 130 pays, ont été confrontées par apprentissage automatique à vingt-deux variables environnementales, le climat, la composition des sols, le relief, l'usage des terres par l'homme, pour produire des prédictions

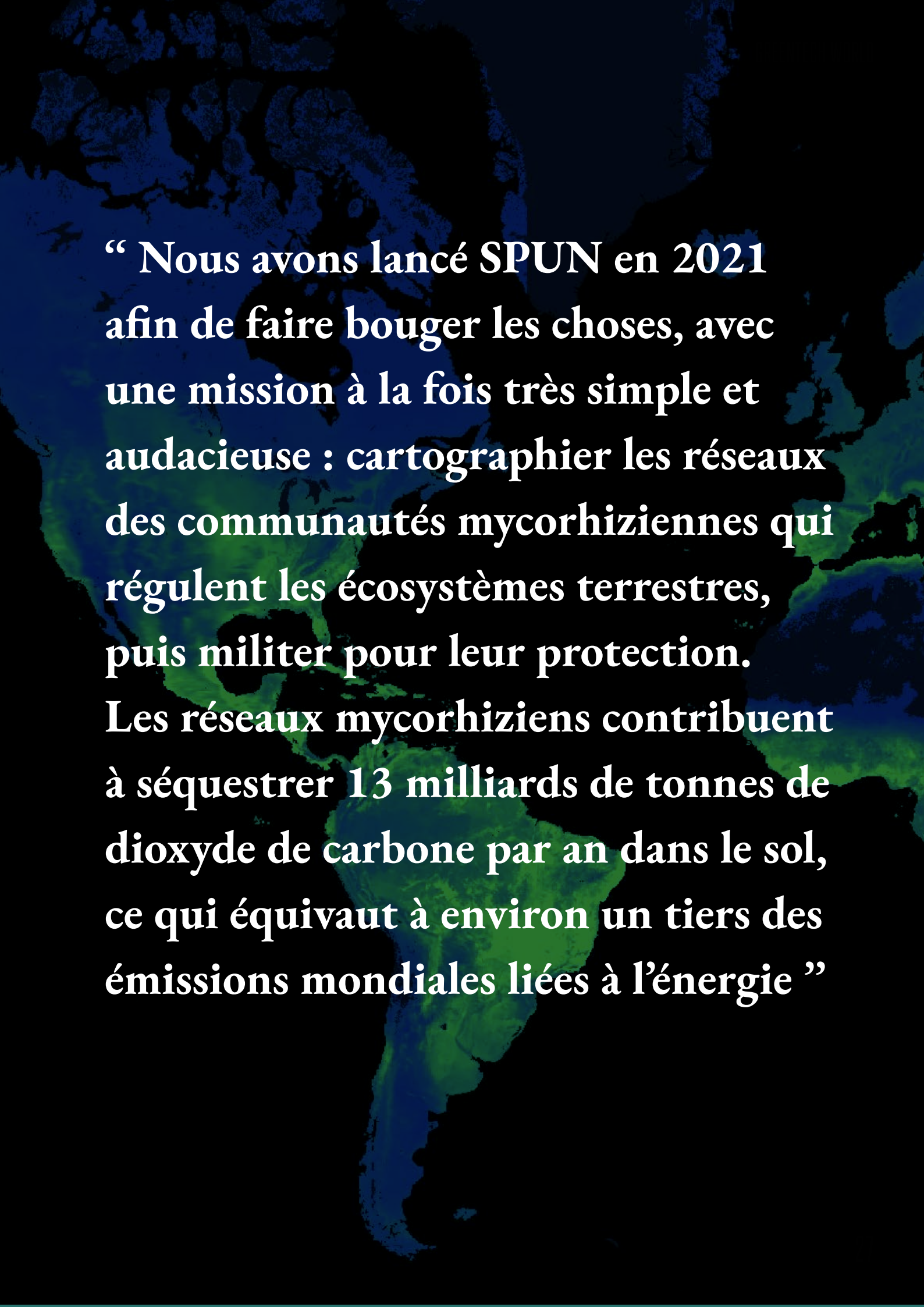
à haute résolution, jusqu'à l'échelle du kilomètre carré, sur l'ensemble de la planète. C'est ainsi qu'est né l'Underground Atlas, publié en 2025 sous le nom de Mycorrhizal Biodiversity Map v1.0, première tentative de donner une image cohérente à ce qui, jusque-là, n'existait que par fragments.

La carte s'accompagne d'un autre document, presque aussi précieux : une carte de l'incertitude, qui indique où les prédictions reposent sur beaucoup de données et où elles reposent sur très peu, notamment dans certaines portions de l'Amazonie ou du plateau tibétain. Une carte qui assume ses propres angles morts en dit souvent plus long qu'une carte qui prétend tout savoir.

Des surprises, et une urgence

Le résultat déjoue plusieurs intuitions. La diversité végétale d'un lieu ne prédit pas sa diversité fongique : le Cerrado brésilien, moins riche en espèces végétales que l'Amazonie voisine, abrite une biodiversité de champignons arbusculaires exceptionnelle. Des foyers de rareté se dessinent dans des régions qu'on n'attendait pas, comme le plateau du Yunnan-Guizhou en Chine ou les hauts plateaux guyanais. Et température comme évapotranspiration affectent en sens inverse les deux grandes familles de champignons étudiées, ce qui complique sérieusement l'idée d'une réponse uniforme de ces réseaux au réchauffement climatique.

Mais la conclusion la plus nette reste la plus inquiétante. Seuls 5,1 % des zones les plus riches en champignons arbusculaires et 13,9 % de celles les plus riches en champignons ectomycorhiziens bénéficient aujourd'hui d'un statut de protection. Autrement dit, la carte que SPUN vient de dessiner ressemble surtout à un inventaire de ce qu'on risque de perdre avant même d'avoir fini de le découvrir.



“ Nous avons lancé SPUN en 2021 afin de faire bouger les choses, avec une mission à la fois très simple et audacieuse : cartographier les réseaux des communautés mycorrhiziennes qui régulent les écosystèmes terrestres, puis militer pour leur protection. Les réseaux mycorrhiziens contribuent à séquestrer 13 milliards de tonnes de dioxyde de carbone par an dans le sol, ce qui équivaut à environ un tiers des émissions mondiales liées à l'énergie ”

ENTRETIEN AVEC MICAELA TOSI /SPUN

Micaela Tosi est « applied mycorrhizal data scientist » chez SPUN : elle met les données et la biologie des sols au service de questions très concrètes, de la restauration des terres dégradées à l'agriculture. Elle nous explique ce que veut dire rendre visible un monde souterrain, restaurer un sol, et jusqu'où il est raisonnable d'intervenir.

SPUN cartographie des organismes et des relations invisibles depuis la surface. En quoi consiste votre travail ?

Mon travail relève du versant le plus appliqué de la recherche : utiliser les données et les connaissances en biologie et en écologie pour explorer des questions liées à des enjeux concrets, comme la dégradation de l'environnement, la restauration et la durabilité de l'agriculture. Ma formation mêle microbiologie, science du sol, écologie, agriculture et données, si bien que je me trouve en général « entre » les disciplines, à essayer de les relier, et j'aime assez travailler avec le désordre et la complexité de tout cela. Je co-coordonne, avec un collègue de Colombie, un projet qui étudie les champignons mycorrhiziens des sols profonds, jusqu'à un mètre de profondeur. Ces sols sont très peu explorés, donc nous voulons avant tout savoir quelle est la diversité des champignons qui vivent là-dessous et qui ils sont. Ils pourraient aussi être un puits de carbone important, et ces champignons, qui tirent leur carbone exclusivement des plantes, pourraient agir comme une « pompe » qui l'amène vers les sols profonds.

Que signifie rendre visible un écosystème invisible ?

À brûle-pourpoint, j'y vois au moins deux aspects. Le premier consiste à trouver des moyens nouveaux et meilleurs d'observer, littéralement, des organismes et des processus

qu'on ne peut pas percevoir à l'œil nu. Pour les microbes du sol, cela veut dire répondre à des questions clés : combien ils sont, qui ils sont, ce qu'ils font, et comment ils interagissent entre eux et avec leur environnement. Pendant longtemps, les sols ont été une sorte de « boîte noire » : on pouvait cultiver quelques-uns des microbes qui y vivent, pour découvrir plus tard qu'ils ne représentaient qu'un faible pourcentage de ce qui s'y trouvait. Mais la technologie avance vite, et nous permet de mieux « voir » ces systèmes. Mais je pense qu'il y a aussi une version plus conceptuelle. Plus nous apprenons à connaître les écosystèmes du sol, plus nous pouvons les rendre visibles à ceux qui ne pourchassent pas les microbes au quotidien, ou qui n'y ont peut-être jamais pensé autrement que comme à des pathogènes. Les rendre visibles, c'est donc aussi faire prendre conscience de leur importance, de la manière dont les activités humaines peuvent les affecter, et de la façon dont ces effets s'accumulent avec le temps, au point qu'il devient parfois difficile de les ramener à leur état antérieur.

Cartographier notre ignorance est-il aussi important que cartographier la biodiversité ?

Je le crois ! D'abord parce que ce sont les lacunes de connaissance qui font avancer la science. Comprendre ce que nous ne savons pas est la toute première étape de tout projet scientifique, qu'il soit grand ou petit. Cela peut aussi nous aider à aller vers les communautés locales et les chercheurs qui comprennent leurs systèmes bien mieux que nous, mais n'ont pas toujours les moyens de mener ces recherches. L'autre aspect, c'est que cela montre si l'effort est porté « au bon endroit », pour ainsi dire. L'Underground Atlas de SPUN a révélé que seuls 9,5 % des hauts lieux de diversité des champignons mycorrhiziens se trouvent dans des aires protégées. Cela fait prendre conscience de la négligence dont les écosystèmes souterrains ont longtemps fait l'objet, alors qu'ils abritent une bonne part des espèces qui vivent sur Terre.

« Il est vertigineux de penser aux nombreuses interactions qui ont lieu ne serait-ce que dans une cuillerée de sol. »

« Comprendre ce que nous ne savons pas est la toute première étape de tout projet scientifique. »

Mica Tosi



Depuis son doctorat à l'université de Buenos Aires et ses années de post-doctorat à l'université de Guelph, Micaela s'est spécialisée dans le domaine de l'écologie microbienne des sols. Une grande partie de ses recherches porte sur la manière dont les microbes associés aux sols et aux plantes réagissent à l'agriculture, au changement d'affectation des terres et à la restauration des sols. Ses travaux visent également à établir un lien entre les communautés microbiennes et les processus écosystémiques plus larges liés à la santé des sols et de l'environnement, afin de promouvoir des pratiques agricoles durables et de favoriser la résilience des écosystèmes.

Vos recherches suggèrent que restaurer un écosystème ne revient pas à remettre ce qui a été perdu. Que signifie alors « restaurer » un sol ?

C'est une grande et vieille question, de celles qui nous font encore débattre. À première vue, ces résultats peuvent sembler décourageants, mais j'aime penser qu'ils nous obligent à faire une pause, à réfléchir plus en profondeur et à ne pas trop simplifier.

Pour essayer de répondre à votre question, je pense que nous avons une meilleure idée de ce que restaurer un sol signifie à l'échelle de l'écosystème : le ramener à un état où il peut remplir les nombreuses fonctions qui font vivre les plantes et les animaux, ainsi que les cycles de l'eau, du carbone et des nutriments. Ce qui est bien plus difficile, c'est de comprendre ce que cela signifie du point de vue microbien. Autrement dit, à quoi « ressemblent t » réellement les communautés microbiennes d'un sol restauré ? Les microbes semblent répondre très différemment selon l'état initial du site, son environnement et les actions que l'on mène pour le restaurer. Et il nous faut un état de référence : on utilise parfois des sites naturels, mais ramener le système à son état naturel n'est pas toujours possible, ni même souhaitable.

En lisant ma réponse, on pourrait croire que nous sommes pris au piège d'un système trop complexe pour être démêlé, mais je ne crois pas que ce soit tout à fait cela. Des études exploratoires sont un premier coup d'œil nécessaire, pour révéler de grands schémas dans ce qui ressemble d'abord à du chaos.

Un écosystème en bonne santé n'est donc pas simplement celui qui a le plus de biodiversité ?

J'adore ce débat, et j'avais commencé à y répondre sans le vouloir dans la question précédente. Bien sûr, la biodiversité a une valeur en soi. Mais après tout ce que je viens de dire sur la complexité, il serait difficile de convaincre qui que ce soit qu'une seule variable suffit à suivre le rétablissement d'un système.

Un sol plus dégradé peut contenir plus d'espèces dans un seul échantillon (disons une cuillerée) qu'un sol natif ou restauré, mais ce sont en général

des espèces très semblables qui reviennent d'une cuillerée à l'autre, alors qu'une prairie ou une forêt aura probablement des communautés bien différentes entre deux cuillerées. Au-delà de ces questions, nous allons bel et bien vers une attention plus grande à la fonctionnalité des microbes du sol (ce qu'ils peuvent faire, ou ce qu'ils font à un moment donné), parce qu'une liste d'espèces ne nous dit pas grand-chose à elle seule.

Une fois comprise l'importance des microbes, la tentation grandit d'intervenir : inoculer, renforcer, optimiser... Où tracer la limite entre soutenir un écosystème et vouloir en faire l'ingénierie ?

C'est plus philosophique, et c'est une excellente question. J'aimerais pouvoir vous donner une réponse nette, mais je ne pense pas en avoir encore, alors je vous livre quelques idées en vrac. Il y a là une sorte de dilemme : nous voulons réduire notre impact, mais restaurer, c'est en soi transformer un système. À mes yeux, il reste plus sûr de laisser l'écosystème, avec ses organismes et ses processus, faire le plus gros du travail. Parfois, laisser simplement le site tranquille (en supprimant la source de dégradation) peut déclencher une restauration passive.

Cela dit, la dégradation est parfois si sévère qu'un sol ne peut pas se rétablir seul. C'est là qu'on peut envisager des interventions plus actives, jusqu'à l'introduction de micro-organismes. Seulement, beaucoup d'autres questions surgissent alors. Sommes-

« Savoir à qui appartient l'ADN présent ne suffit pas pour comprendre si cet organisme est bien là, et surtout s'il remplit une fonction précise. »

nous sûrs de devoir introduire des microbes, ou y a-t-il déjà des organismes présents que l'on pourrait stimuler ? Lesquels introduire ? Une approche prometteuse consiste à utiliser des microbes locaux, adaptés aux conditions du site. Et comment garder les choses sous contrôle ? Une manière simple d'être prudent est de commencer petit, sur de petites surfaces où l'on peut suivre de près les changements avant de passer à l'échelle.

Cela ne répond peut-être pas directement à votre question, mais tous ces points forment la base de l'endroit où l'on pourrait tracer cette limite. Pour moi, plus nous voulons intervenir, plus la justification et les preuves doivent être solides.

Faut-il alors redéfinir ce que « protéger » une culture, une forêt ou un écosystème veut dire ?

Nous en savons assez aujourd'hui pour que j'en sois assez certaine : oui. Pendant longtemps, on a vu les sols comme un support et une source de nutriments. Mais lorsque les outils moléculaires nous ont montré l'ampleur et l'importance des microbiomes, nous avons été en quelque sorte forcés de repenser ces systèmes comme des entités écologiques complexes, jusqu'à remettre en question notre concept d'individu. C'est complexe, et il n'y a pas moyen d'y échapper. Je crois que nous entrons enfin dans une ère où l'on se lie d'amitié avec cette complexité et où on l'embrasse, au lieu de chercher à appliquer des solutions uniques qui peuvent se retourner contre nous, comme on l'a vu avec les monocultures, l'usage incontrôlé des pesticides ou le labour excessif.

Passons-nous d'une écologie des entités à une écologie des interactions ?

Je le crois, et cela rejoint ce que je viens de dire sur le fait d'embrasser la complexité. Cela inclut les interactions entre organismes, mais aussi avec leur environnement (eau, nutriments, pH, argiles...), à des échelles extrêmement différentes. Il est vertigineux de penser aux nombreuses interactions qui ont lieu ne serait-ce que dans une cuillerée de sol, mais c'est aussi une leçon d'humilité, et j'espère que cela le restera à mesure que nous apprendrons à les démêler.

« Que nous en tenions compte ou non, l'issue de toute tentative de protéger les sols et les écosystèmes dépendra des nombreuses pièces qui composent ce système et de la façon dont elles interagissent. »

Mica Tosi



Credit: Natalija Gormalova



Credit: Quentin van den Bossche

D O S S I E R

THE AGE OF LIFETECHS

Les équilibres du monde deviennent plus fragiles au moment même où notre capacité à comprendre le vivant devient plus puissante. Les sciences convergent. Les frontières entre cosmétique, santé, nutrition, agriculture et environnement deviennent plus poreuses. L'intelligence artificielle accélère encore cette compréhension. Face à cette puissance nouvelle, une question apparaît : à quoi doit servir l'innovation aujourd'hui ?

**LA RESPONSABILITÉ
NOUVELLE DE
L'INNOVATION**

Pendant longtemps, notre priorité a été de réduire notre empreinte sur le vivant. Préserver les ressources, réduire les émissions, substituer les procédés les plus polluants, limiter les déchets, protéger davantage. Cette transformation reste essentielle.

Mais les équilibres du monde deviennent plus fragiles. Les systèmes qui rendent la vie possible sont moins résilients. Réduire notre impact demeure indispensable, mais une autre question apparaît désormais : comment contribuer activement à la capacité du vivant à durer ?

Cette interrogation intervient au moment même où notre compréhension du vivant connaît une transformation profonde. De la cosmétique à la santé, de l'agriculture à la nutrition, de l'eau à l'environnement, les sciences du vivant convergent. Nous comprenons mieux les interactions invisibles qui relient les organismes, leurs milieux et les systèmes dont ils dépendent.

Deux mouvements se rencontrent donc : au moment même où le vivant devient plus vulnérable, notre capacité à le comprendre devient plus puissante. Cette rencontre change la question posée à l'innovation. Elle ne peut plus être seulement jugée sur ce qu'elle ajoute au monde, ni même sur sa seule capacité à réduire son impact. Il faut désormais s'interroger sur ce qu'elle permet au monde de préserver. Protéger. Réparer. Régénérer. Soutenir. Préserver les conditions mêmes qui permettent à la vie de tenir.

C'est cette transformation que nous appelons The Age of LifeTechs.

À quoi doit servir l'innovation aujourd'hui ?



Les travaux prospectifs BIOTECHS 2045 menés par Greentech avaient déjà exploré cette évolution, non pour prédire l'avenir, mais pour identifier des futurs possibles et les choix qu'ils imposeraient. Inaugurée à Paris (Carrousel du Louvre) les 15-16 octobre 2025 à l'occasion du salon COSMETIC 360 – édition « Prédiction », la Capsule BIOTECHS 2045 réunissait un équipage de pointe, 15 experts venus d'horizons variés – sociologues, biologistes, économistes, prospectivistes, designers... Ensemble, ils ont imaginé et confronté des scénarios prospectifs où les biotechnologies redéfinissent la cosmétique, le rapport au corps et à la nature.

LES SCIENCES CONVERGENT LE VIVANT LES RELIE.

Nous avons longtemps organisé la connaissance en disciplines. La cosmétique étudiait la peau, la médecine le corps, la nutrition l'alimentation, l'agronomie les plantes et les sols, l'écologie les écosystèmes. Ces distinctions demeurent nécessaires à la recherche, mais leurs frontières deviennent plus poreuses. Le microbiome transforme notre compréhension de la peau comme de l'intestin. Les micro-organismes deviennent des acteurs essentiels de la santé des sols.

L'étude des mycorhizes révèle des réseaux d'interactions souterraines entre plantes et champignons. Les liens entre environnement et santé conduisent à penser simultanément organismes et milieux. Des domaines autrefois juxtaposés commencent ainsi à partager les mêmes objets d'étude : interactions, symbioses, microbiomes, résilience, adaptation, régénération. La recherche progresse de plus en plus entre les disciplines.

Cette convergence traverse directement les activités de Greentech : cosmétique, agriculture, environnement, nutrition et santé. Derrière la diversité de ces marchés apparaît progressivement un langage commun.

LA VIE

Non comme une matière première supplémentaire, mais comme un ensemble de systèmes interdépendants dont la compréhension devient déterminante pour l'innovation.

La cosmétique elle-même témoigne de cette transformation. Prévention, microbiome, longévité, résilience et santé globale élargissent progressivement son champ. La peau n'est plus seulement envisagée comme une surface. Elle est une frontière vivante.



L'IA ACCÉLÈRE. LE VIVANT RESTE LE SUJET

Cette convergence intervient à un moment particulier. Jamais la recherche n'a produit autant de données sur les molécules, les organismes, les microbiomes, les écosystèmes et leurs environnements.

L'intelligence artificielle apporte une capacité nouvelle à les analyser et à les mettre en relation. Elle peut contribuer à détecter des corrélations difficiles à percevoir, explorer des ensembles de données considérables, rapprocher des connaissances issues de disciplines différentes, formuler des hypothèses et accélérer certaines étapes de recherche.

Elle ne remplace ni l'expérimentation, ni l'expertise, ni l'intuition scientifique. Elle augmente notre capacité à chercher. Ce changement est considérable. Car lorsque notre capacité à comprendre s'accélère, notre capacité à intervenir s'accélère elle aussi. La question n'est donc plus seulement de savoir ce que nous pouvons désormais faire. Elle devient : *que devons-nous faire de ce nouveau pouvoir ?*

LifeTechs repose sur cette distinction. La technologie n'est pas le point de départ. L'observation et la compréhension du vivant viennent d'abord. La technologie vient ensuite. L'intelligence artificielle peut accélérer la connaissance. Elle ne décide pas de ce qui mérite d'être transformé. Cette responsabilité reste humaine. Lorsque notre capacité à comprendre s'accélère, notre capacité à intervenir s'accélère elle aussi.

FROM GREENTECHS TO LIFETECHS DE LA RÉDUCTION DE L'IMPACT À UNE RESPONSABILITÉ NOUVELLE

Les GreenTechs ont accompagné une prise de conscience majeure : la technologie ne pouvait plus ignorer son impact sur l'environnement. Il fallait consommer moins de ressources, réduire les émissions, substituer les procédés les plus polluants, limiter les déchets et protéger davantage. Cette transformation reste indispensable. Les LifeTechs ne viennent pas la remplacer. Elles en déplacent la frontière.

Réduire l'impact consiste à demander : comment faire moins de mal ? La responsabilité nouvelle de l'innovation ajoute une autre question : comment contribuer activement à la capacité du vivant à durer ?

QUATRE VERBES. UNE MÊME QUESTION :
QUE PERMET CETTE INNOVATION AU VIVANT ?

PROTECT

Que protège réellement l'innovation ? Quels organismes, ressources, équilibres ou relations contribue-t-elle à préserver ?

REPAIR

Quel déséquilibre cherche-t-elle à corriger ? Quelle capacité du système vivant permet-elle de restaurer ?

REGENERATE

Va-t-elle au-delà de la réparation ? Peut-elle favoriser la capacité d'un système à se renouveler, à retrouver ses fonctions, à reconstruire ses propres équilibres ?

SUSTAIN

Que faut-il maintenir dans la durée ? Quelles conditions permettent au système vivant de continuer à fonctionner sans déplacer le problème ailleurs ?

Ce déplacement conduit à ne plus regarder seulement l'efficacité d'une technologie ou son empreinte propre, mais ses effets sur les systèmes auxquels elle appartient. Une innovation peut-elle protéger un équilibre ? Réparer une fonction fragilisée ? Favoriser une capacité de régénération ? Soutenir durablement les interactions nécessaires à la vie ?

PROTECT.
REPAIR.
REGENERATE.
SUSTAIN.

Ces quatre verbes ne constituent ni un label, ni une certification, ni la promesse que toute innovation pourrait simultanément répondre aux quatre dimensions. Ils constituent un filtre de questionnement, une invitation à regarder au-delà du produit lui-même pour comprendre le système dans lequel il agit.

Car protéger un élément sans comprendre ses relations avec les autres peut déplacer un déséquilibre. Réparer sans supprimer la cause peut entretenir la dégradation. Régénérer sans considérer le temps long peut devenir un simple argument. Soutenir suppose enfin d'accepter que le vivant ne se résume jamais à une addition de performances.

Une technologie LifeTech ne commence donc pas par une solution. Elle commence par une compréhension suffisamment fine du système auquel elle souhaite contribuer.

Parler de LifeTechs sans poser cette question serait insuffisant. Les progrès scientifiques permettent d'observer, de mesurer et parfois de modifier des mécanismes du vivant avec une précision croissante. C'est une chance immense. C'est aussi une responsabilité. Comprendre, mesurer, améliorer ou optimiser ne sont pas exactement la même chose. Et transformer une connaissance en technologie doit

rester une question ouverte.

Le vivant n'est pas simplement une nouvelle frontière économique à conquérir. Une forêt n'est pas seulement un stock de carbone. Un microbiome n'est pas seulement une bibliothèque de fonctions exploitables. Un sol n'est pas uniquement un support de rendement. Un organisme n'est pas une machine dont chaque variable devrait être

TOUT CE QUI PEUT ÊTRE TECHNOLOGISÉ *doit-il* L'ÊTRE ?

“ Les LifeTechs supposent donc une éthique du discernement. La bonne innovation n'est pas nécessairement celle qui intervient le plus. Elle peut être celle qui comprend suffisamment un système pour intervenir moins, mieux, ou parfois ne pas intervenir.

Cette exigence protège LifeTechs d'un paradoxe : prétendre défendre le vivant tout en le transformant intégralement en marché, en donnée ou en technologie.

La responsabilité nouvelle de l'innovation commence peut-être ici : savoir ce que nous pouvons faire et savoir ce que nous devons refuser de faire. Plus nous devenons capables d'agir sur le vivant, plus nous devons nous interroger sur la responsabilité de cette action. ”



Penser LifeTechs suppose de regarder les relations qui existent entre les systèmes. L'eau participe à l'agriculture. Les sols influencent les plantes. Les micro-organismes transforment les milieux. Les microbiotes participent à l'équilibre des organismes. Les ressources utilisées par une industrie ont des conséquences sur d'autres écosystèmes.

Greentech observe directement ces interdépendances dans ses propres activités.

Le traitement des eaux usées peut permettre de préserver l'eau potable et de produire une eau réutilisable pour l'irrigation. La valorisation de certains déchets solides en matière organique peut contribuer à limiter le recours à des intrants à plus fort impact. Agriculture, eau, matière et environnement cessent alors d'être quatre sujets séparés. Ils deviennent les éléments d'un même système. Cette lecture systémique est au cœur de LifeTechs. Elle conduit à regarder une innovation non seulement pour ce qu'elle accomplit directement, mais pour la manière dont elle interagit avec l'ensemble auquel elle appartient.

PENSER EN SYSTÈMES DE L'INNOVATION ISOLÉE À L'INTERDÉPENDANCE

POURQUOI GREENTECH ?

Depuis plus de trente ans, Greentech développe des biotechnologies inspirées du vivant destinées à différents marchés : cosmétique, agriculture, environnement, nutrition et santé.

Cette diversité pourrait être considérée comme une juxtaposition d'activités. Elle peut aussi être regardée comme un point d'observation privilégié des relations qui unissent différents systèmes du vivant. C'est cette expérience multidisciplinaire - dont nous avons su exploiter la cross-fertilisation - qui conduit aujourd'hui Greentech à ouvrir cette conversation LifeTechs. Pas pour proclamer : "Nous sommes les LifeTechs". Nous ne cherchons pas à imposer une idée. Nous cherchons à donner un langage commun à une transformation déjà en cours. Ce que nous appelons The Age of LifeTechs n'est pas un slogan. C'est une direction, un engagement, une responsabilité.

Le monde entre dans une ère nouvelle. Voici comment nous choisissons d'y répondre.

UNE HYPOTHÈSE À CONFRONTER AU MONDE

Si la responsabilité de l'innovation change, elle doit être interrogée par celles et ceux qui observent le vivant depuis des disciplines, des cultures et des points de vue différents.

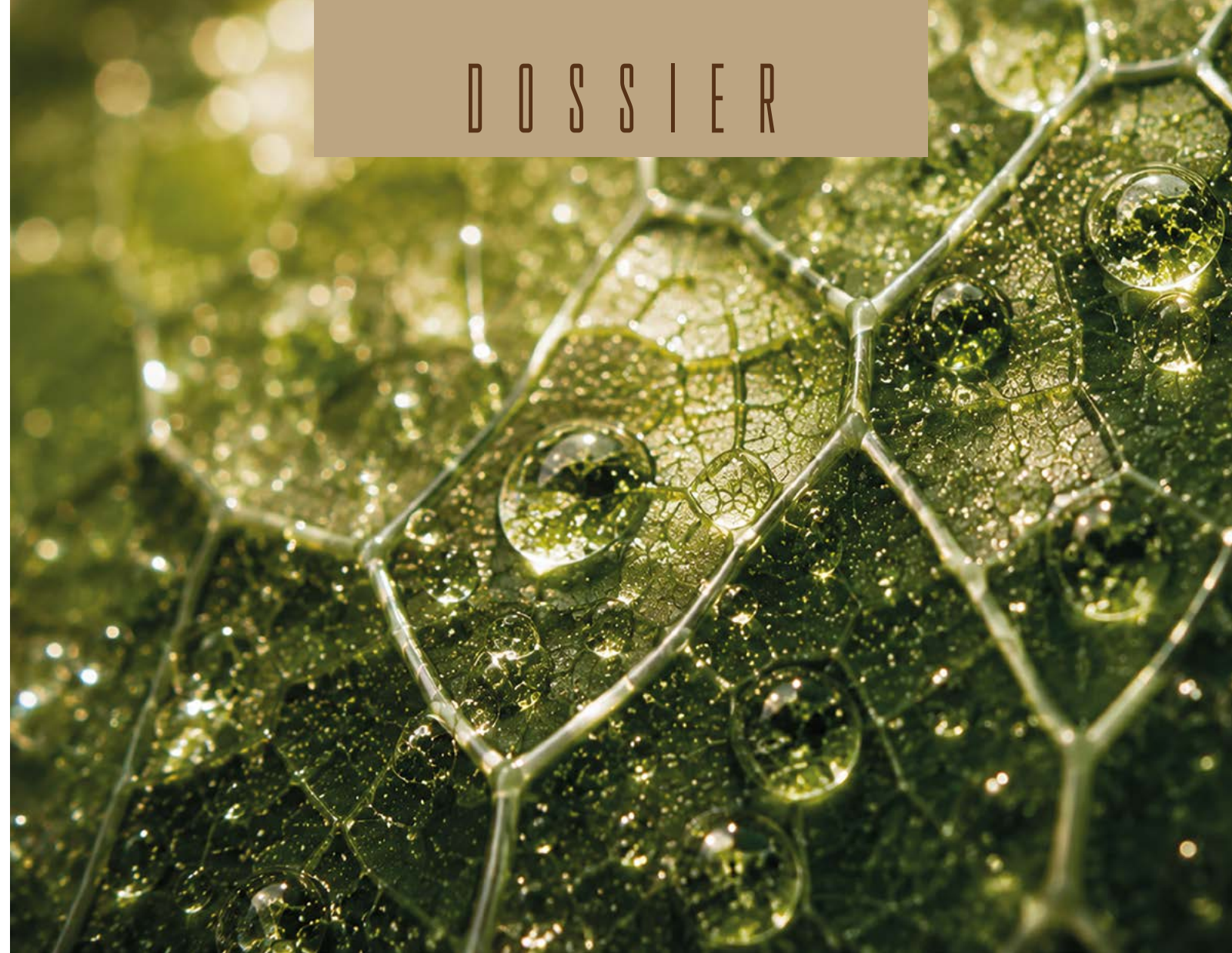
C'est pourquoi **The Age of LifeTechs** commence par une conversation.

Greentech a entrepris de solliciter des scientifiques et penseurs internationaux afin de confronter cette intuition à leurs recherches et à leurs convictions. Qu'est-ce que la vie ? Que cherchons-nous réellement à protéger ? Quelle découverte a changé notre manière de penser le vivant ? Jusqu'où pouvons-nous intervenir sans réduire le vivant à une ressource ?

Ces questions peuvent traverser les disciplines sans appeler nécessairement les mêmes réponses. Biologistes, écologues, philosophes, spécialistes des sols, des plantes, des microbiomes, de la santé ou de l'économie ne parlent pas toujours le même langage. C'est précisément ce qui rend cette conversation nécessaire. Sa force ne viendra pas de l'unanimité. Elle viendra des différences.

Le mouvement cherche à construire un espace où science, industrie et société peuvent interroger ensemble la finalité de l'innovation.

C'est aussi l'ambition de ce numéro de Greentech World : donner une place centrale à cette polyphonie. Non pour faire cautionner LifeTechs par des scientifiques, mais pour mettre LifeTechs à l'épreuve de leurs



À quoi doit servir l'innovation aujourd'hui ?

Cette question dépasse Greentech. Elle concerne les chercheurs, les industriels, les entrepreneurs, les institutions et tous ceux qui, à mesure que notre compréhension du vivant progresse, acquièrent également une capacité nouvelle à agir sur lui. Nous ne cherchons donc pas des voix qui nous donnent raison. **Nous cherchons des voix qui nous aident à mieux poser la question.** ☾☾

THE POWER OF THE INVISIBLE

CULTIVER L'INVISIBLE

Faut-il voir un organisme pour lui accorder une existence pleine ? Le mot « microbe », forgé dans les années 1870, ne désignait qu'une chose, la maladie, comme si l'infiniment petit n'avait droit de cité dans le langage qu'au moment où il devenait une menace. Il aura fallu un siècle de biologie moléculaire pour que la question s'inverse, lentement, et que l'on commence à demander non plus de quoi un micro-organisme nous protège, mais ce qu'il pourrait faire pour nous.

C'est cette seconde question, plus généreuse que la première, qui ouvre chaque projet chez Grencell : une plante qui n'accède pas à ses nutriments, un sol qui laisse fuir l'eau, une station d'épuration qui s'essouffle devant une charge trop concentrée. Le problème est concret et mesurable ; la réponse reste à débusquer dans une diversité microbienne dont on soupçonne à peine l'étendue, quand on sait qu'un seul gramme de sol fertile abrite plusieurs milliards de cellules bactériennes, réparties en espèces dont la plupart n'ont jamais été cultivées en laboratoire.

Le criblage donne un cap à cette recherche, quitte à changer d'objet selon le secteur : phytohormones et solubilisation des nutriments en agronomie, dégradation de la matière organique dans l'eau, biotransformation en

cosmétique, arôme et texture dans l'alimentaire, interaction avec le microbiote en santé. Le geste reste identique d'un secteur à l'autre ; seul l'objet qu'il vise se déplace.

Repérer une souche prometteuse en boîte de Petri, cependant, ne règle presque rien. Reste ce que les biologistes appellent, non sans une certaine pudeur, la caractérisation : savoir si la souche est sûre, si elle demeure stable, si elle conserve sa fonction hors du confort du laboratoire, si on peut la reproduire non pas une fois mais mille. Ces questions n'ont rien de spectaculaire, et c'est justement pour cela qu'on les néglige souvent en racontant l'innovation ; ce sont pourtant elles qui séparent une curiosité scientifique d'une solution industrielle. Une capacité biologique repérée n'est encore qu'une hypothèse. Elle ne devient une innovation que lorsqu'elle devient reproductible.

« Un seul gramme de sol fertile abrite plusieurs milliards de cellules bactériennes. »



PRODUIRE DU VIVANT

On ne fabrique pas un micro-organisme comme une pièce industrielle, on lui donne plutôt un milieu, une température, de l'oxygène et du temps, puis on veille à ce que sa puissance biologique survive au changement d'échelle. La fermentation pourrait se raconter comme une simple multiplication, quelques cellules devenant des milliards, mais cette image cache l'essentiel : chaque souche a ses propres exigences, et le milieu qui la nourrit, la température, le pH, l'oxygénation ou le temps de culture déterminent autant la qualité du résultat que la souche elle-même.

Changer d'échelle sans changer de nature

Entre une culture de laboratoire et une production industrielle, le volume augmente, mais ce sont surtout les contraintes qui se multiplient : l'homogénéité du milieu, les transferts d'oxygène ou la récolte ne se comportent plus de la même façon une fois les volumes changés. Le scale-up ne consiste donc pas à agrandir une recette, il consiste à comprendre le comportement d'un micro-organisme assez finement pour le reproduire ailleurs. Une fois la fermentation terminée, certains micro-organismes sont lyophilisés, l'eau

retirée à basse température pour préserver leur viabilité ; d'autres restent sous forme liquide, selon la souche et l'usage prévu. Industrialiser le vivant, en somme, ce n'est pas le contraindre à devenir mécanique. C'est rendre sa variabilité juste assez maîtrisable pour que sa fonction reste fiable.

Le CDMO, un métier de traduction

Pour ses clients, Greencell intervient aussi comme partenaire de développement et de production, un métier qu'on résume sous l'acronyme CDMO, Contract Development and Manufacturing Organization, et qui consiste à traduire une intention biologique en paramètres de culture, en contrôles, en lots reproductibles. De nombreuses entreprises savent repérer une piste biologique prometteuse ; beaucoup moins savent la produire. Le véritable goulot d'étranglement, dans ce secteur, n'est pas toujours la découverte elle-même, mais ce qui vient juste après : le passage d'une découverte à une matière utilisable.

« Le véritable goulot d'étranglement n'est pas toujours la découverte, mais ce qui vient juste après. »

GREENCELL ET L'AGRICULTURE RÉGÉNÉRATRICE : REDONNER VIE AUX SOLS

Sous les cultures, dans les quelques centimètres autour des racines, se joue l'essentiel de ce que la plante pourra absorber. Antonin Galien, ingénieur agronome chez Greencell, explique comment les biosolutions de l'entreprise agissent à cet endroit invisible, et pourquoi elles ont gagné la confiance des distributeurs et des agriculteurs.

On regarde toujours la plante, sa croissance, son rendement, comme si tout se jouait au-dessus du sol ; pourtant l'essentiel se négocie ailleurs, dans les quelques centimètres autour des racines où une biologie invisible décide de ce que la plante pourra absorber.

Concrètement, comment vos solutions aident-elles les agriculteurs au quotidien ?

« Nos solutions apportent différents bienfaits aux cultures de nos clients :

- Fertilisation : les micro-organismes permettent de libérer les nutriments du sol pour les rendre accessibles pour les plantes.
- Structure du sol : les micro-organismes améliorent la structure et l'aération du sol. Le sol « respire » mieux et développe une meilleure capacité à laisser l'eau s'infiltrer (moins de risque d'inondation) et à la retenir à proximité des racines (les cultures profitent plus d'une pluie). Un sol plus aéré et poreux facilite le développement des racines des cultures et donc leur accession à l'eau et aux nutriments.
- Croissance : les micro-organismes, les algues et les microalgues libèrent des phytohormones (hormones de plante), ce qui booste la croissance des racines, des tiges, des feuilles et des fruits des cultures, ce qui augmente les rendements.

• Meilleure résistance face aux stress abiotiques : certaines des phytohormones libérées par les algues et microalgues améliorent la capacité des plantes à s'adapter face aux stress abiotiques comme le manque d'eau, les températures élevées, les milieux riches en sels, etc.

• Compétition avec les pathogènes : les micro-organismes se développent et colonisent le sol. Par cette action, ils rentrent en compétition avec les micro-organismes pathogènes pour les nutriments et l'espace disponible, limitant le développement de ces pathogènes et leur accès aux cultures.

• Boost des défenses naturelles des plantes : certaines des phytohormones libérées par les algues et microalgues stimulent les défenses naturelles des plantes et les rendent plus aptes à se défendre contre différentes maladies.

Comment vos micro-organismes permettent-ils d'avoir une agriculture plus respectueuse et plus résiliente face aux enjeux agricoles ?

Par les actions citées précédemment, nos produits permettent de réduire l'utilisation de plusieurs produits chimiques comme des produits phytopharmaceutiques (autrement appelés pesticides) qui pour la plupart ont des incidences négatives sur la biodiversité, la santé du sol, les nappes phréatiques, etc. De même, il est aussi possible de réduire l'utilisation d'engrais chimiques qui se retrouvent en grande partie dans les cours d'eau et autres sources d'eau naturelles et qui engendrent des dérèglements de biodiversité (développement d'algues et d'espèces invasives).

Qui fait confiance à vos solutions ?

Depuis plus de 10 ans, nous proposons ces solutions à plus de 90 distributeurs en France qui déploient ces produits sur plus de 100 000 ha dans le monde. De nombreux agriculteurs sont convaincus par nos solutions et sont des clients récurrents depuis de nombreuses années. Certains ont même témoigné de l'efficacité de nos produits et de la manière dont ils ont augmenté leur utilisation de nos solutions au cours des années. Nous commercialisons ces solutions avec des homologations nationales et européennes garantissant l'innocuité, la qualité et l'efficacité de nos produits, ce qui montre également la confiance des instances réglementaires envers nos solutions.

Quelles ont été les étapes clés de cette confiance en votre expertise ?

De par le parcours et les expériences de notre président Jean-Yves Berthon, l'entreprise dispose d'un ADN R&D très fort. Ainsi la première force de l'entreprise est sa capacité à innover, à développer des connaissances fortes sur les souches qu'elle sélectionne et qu'elle produit, en témoignent les nombreuses publications scientifiques de l'entreprise et les partenariats de production de Greencell (Novonosis, Synergis Biosolutions, etc.).

Dans les valeurs fortes de l'entreprise se trouve aussi l'esprit pionnier. On retrouve cet aspect

dans le développement précoce des solutions agronomiques par rapport aux concurrents. En effet, notre biofertilisant Cérès fut la première matière fertilisante (réglementation MFSC) à base de micro-organismes à être homologuée en France en 2015, puis le premier produit de ce type à obtenir un certificat d'économie de produit phytosanitaire (CEPP, ce qui signifie qu'il a été prouvé que l'utilisation de ce produit permet une réduction des pesticides) en 2020.»

L'agriculture régénérative n'est donc pas le nom d'un produit. C'est un déplacement de la question qu'on pose au champ : non plus seulement quel rendement il produit cette année, mais dans quel état il laisse le sol qui devra produire l'année suivante.

« L'essentiel se négocie dans les quelques centimètres autour des racines. »

DÉPOLLUER AVEC LE VIVANT

Stations d’épuration, plans d’eau, méthanisation : partout où l’eau et la matière organique posent problème, des micro-organismes sont déjà au travail. Vincent Escarzaga, responsable développement environnement chez Greencell, raconte comment l’entreprise les renforce pour dépolluer et assainir autrement.

Face à une eau polluée, on pense volontiers qu’il faudrait davantage de machines ou de chimie, en oubliant qu’une station d’épuration classique est déjà une technologie biologique: des micro-organismes s’y nourrissent et dégradent une partie de la pollution organique.

Quelles sont les missions du service environnement, et en quoi consiste votre métier de commercial environnement chez Greencell ?

«Le service commercial environnement s’attache à promouvoir l’activité de Greencell, afin d’en développer les ventes. De grands marchés ont déjà été identifiés, sur lesquels j’oriente mon action en priorité, tout en restant opportuniste pour de nouveaux usages :

- Stations d’épuration : contribuer à débarrasser l’eau de ses polluants organiques.
 - Urbaines : ciblage des intercommunalités et des syndicats d’assainissement, en passant par les départements et les bureaux d’études.
 - Industrielles : l’industrie agroalimentaire est visée, notamment la filière laitière et fromagère.
- Milieux naturels : lutter contre l’envasement et les cyanobactéries dans les plans d’eau.
- Méthanisation : nos micro-organismes peuvent permettre d’augmenter la quantité de biogaz produite, et facilitent la gestion des digestats.

Comment des micro-organismes peuvent-ils réellement dépolluer ou assainir un sol ou une eau contaminée ?

Les micro-organismes ont besoin de manger, on les utilise pour leur capacité à dégrader des matières. Les systèmes d’assainissement sont conçus pour dépolluer les eaux usées grâce à la biologie. Une microflore se développe dans les stations d’épuration, permettant de dégrader les matières. Cette biologie endogène ne suffit pas

toujours à atteindre les objectifs attendus. La valeur ajoutée de Greencell est de sélectionner des souches d’intérêt pour booster la biologie, la doter de champions de la dégradation pour améliorer les performances épuratoires d’un ouvrage. Au passage, on réduit la chimie utilisée (chlorure ferrique notamment) et les consommations d’énergie. Dans le cas des milieux naturels, nos consortiums permettent de clarifier l’eau en dégradant les matières organiques. Les souches retenues par la R&D se nourrissent des nutriments présents dans l’eau, dégradent l’azote et stockent le phosphore. Privées de ces éléments, les algues ne peuvent plus se développer. Nos micro-organismes entament alors une conquête territoriale afin de limiter la présence de cyanobactéries privées d’espace de développement.

Pouvez-vous nous donner un exemple concret de site que vous avez aidé à dépolluer ou assainir ?

Nous disposons de nombreux exemples témoignant de l’efficacité de nos cocktails microbiens en France, en assainissement comme dans les milieux naturels. La plus grande illustration reste probablement la dépollution de la baie de Cocody en Côte d’Ivoire. Ce milieu naturel est malheureusement le récepteur d’effluents industriels bruts. L’eau y était trouble et nauséabonde. Nos cocktails ont rapidement dégradé la pollution : en 30 minutes les odeurs sulfurées ont disparu, puis en quelques jours les matières en suspension et dissoutes ont été dégradées. Au bout d’une semaine, l’eau a retrouvé sa limpidité.

Quels sont les défis de demain auxquels il faudra répondre avec votre expertise ?

Le réchauffement climatique amène des répercussions immédiatement visibles sur l’eau et l’environnement. Les températures d’eau se réchauffent, avec des proliférations d’algues qui impactent directement les nombreuses activités qui coexistent autour d’un plan d’eau. Il devient

un enjeu environnemental, économique et sanitaire de lutter contre l’envasement et les cyanobactéries. La production de biogaz semble en plein essor. Les unités de méthanisation fleurissent dans le cadre de la souveraineté énergétique, et de la valorisation de déchets organiques. Nous pouvons y voir une opportunité de marché à saisir. Enfin, collectivités et industriels doivent réduire leurs consommations d’eau, amenant des rejets plus concentrés en polluants de tous types. Les réglementations se durcissent, renforçant les contraintes sur l’assainissement. Nos cocktails peuvent avoir une place d’importance, d’autant que le contexte économique des produits conventionnels n’est ni bon marché, ni stable. La présence de PFAS dans les effluents, révélés par de nouvelles méthodes analytiques et obligations réglementaires, effraie la profession. Une synergie entre micro-organismes et

pouvoir de captation des algues est peut-être à explorer. Le vivant est impacté par les conséquences du réchauffement climatique : plantes, récoltes, quantité de principe actif sont en régression. À l’image des synergies existantes entre les systèmes naturels, nous avons tout intérêt à consolider les interconnexions entre nos différentes activités.»

«Les micro-organismes ont besoin de manger, on les utilise pour leur capacité à dégrader des matières.»





LE GOÛT COMME INTERACTION

Camembert, brie, raclette : derrière les fromages du quotidien, il y a des ferments sélectionnés, cultivés et maîtrisés. Mariana Brugière, responsable de la production agroalimentaire de Greencell, raconte un métier à la croisée de la microbiologie et de la production industrielle.

«Nous travaillons avec les micro-organismes depuis bien avant de savoir qu'ils existaient. Pasteur lui-même, en 1876, résumait le phénomène en une formule qui tient toujours : « la fermentation, c'est la vie sans air ».

Présentez-nous le service production agroalimentaire de Greencell et en quoi consiste votre métier de responsable production agroalimentaire ?

Le service production agroalimentaire de Greencell est spécialisé dans la production de ferments destinés à la fabrication de fromages. Fort de plus de 20 ans d'expertise, notre pôle développe et fabrique des biosolutions adaptées aux différents besoins de l'industrie fromagère, notamment des cultures starters et des cultures d'affinage. Nous produisons différents types de micro-organismes (levures, bactéries et moisissures) grâce à des procédés de fermentation liquide ou solide. [...] C'est un métier qui se situe à la croisée de la microbiologie et de la production industrielle. Nous travaillons avec des organismes vivants, ce qui demande à la fois une grande rigueur, une bonne compréhension des phénomènes biologiques et une maîtrise précise des procédés. Notre objectif est de garantir à nos clients des biosolutions performantes, régulières et reproductibles, lot après lot.

Concrètement, quel rôle jouent les micro-organismes dans l'affinage d'un fromage ou d'un autre aliment ?

Dans la fabrication d'un fromage, plusieurs micro-organismes peuvent être associés, chacun ayant une fonction spécifique grâce aux composés qu'il produit au cours de sa croissance et de son activité métabolique. Dans le cas du fromage, au cours de l'affinage, ils transforment progressivement les différents constituants du lait, notamment les sucres, les protéines et les matières grasses. Ces réactions contribuent à développer le profil propre à chaque variété de fromage : arômes, texture, couleur, croûte et intensité gustative. Par exemple, les flores de surface jouent un rôle essentiel dans l'apparence et le développement aromatique des fromages à pâte molle. Certaines moisissures et levures se développent à la surface et participent à la formation de la croûte, tout en contribuant à l'élaboration des arômes typiques du produit. Chaque souche apporte ainsi sa propre contribution aux qualités finales du fromage.

L'association et les interactions entre ces différentes flores permettent d'obtenir un produit aux propriétés spécifiques, régulières et maîtrisées. Derrière un fromage se trouve donc un véritable travail de sélection, d'association et de maîtrise des micro-organismes.

Comment fait-on pousser ces différents micro-organismes ?

La fermentation est un procédé ancestral, utilisé depuis des milliers d'années, aussi bien sous forme liquide, par exemple pour la fabrication de la bière, que sous forme solide, comme dans la production traditionnelle de sauce soja. L'affinage des fromages repose lui aussi sur ces phénomènes naturels depuis très longtemps. Autrefois, les fromages s'affinaient grâce aux micro-organismes naturellement présents dans le lait et dans leur environnement. Le résultat pouvait donc varier en fonction de la cave ou

encore de la saison. La maîtrise du procédé était ainsi limitée et dépendait fortement du lieu d'affinage. Aujourd'hui, la grande différence avec les procédés traditionnels est que les micro-organismes que nous utilisons ont été isolés et sélectionnés pour leurs propriétés. L'objectif est de produire une seule souche, choisie pour la fonction recherchée. Selon la souche, nous pouvons réaliser une fermentation liquide ou solide. Nous apportons à chaque micro-organisme un milieu de culture adapté et nous contrôlons les conditions nécessaires à son développement : température, pH, oxygénation, durée de fermentation, etc. Notre métier consiste donc à créer les conditions idéales pour permettre à chaque souche de se développer, tout en maîtrisant parfaitement le procédé pour obtenir un produit régulier et de qualité.

Est-ce qu'on retrouve vos micro-organismes dans des produits qu'on achète tous les jours au supermarché ?

Oui, tout à fait ! Nos micro-organismes interviennent dans la fabrication de nombreux fromages présents au quotidien dans les rayons des supermarchés, des plus doux aux plus typés. Chaque flore est sélectionnée pour répondre à un besoin précis et contribuer au développement du goût, des arômes, de la texture, de la couleur ou encore de l'aspect de la croûte.

- Les fromages à pâte pressée, comme la Raclette ou le Danbo ;
- Les fromages à pâte molle à croûte fleurie, comme le Camembert ou le Brie ;
- Les fromages à pâte molle à croûte lavée, comme le Munster ou le Limburger ;
- Les fromages à pâte persillée, comme le Roquefort ;
- Les fromages à pâte filée (Pasta Filata), comme la Mozzarella, ainsi que différentes spécialités fromagères.

Nos biosolutions ne se limitent pas non plus à l'affinage. Nous travaillons également sur la bioprotection, avec des cultures capables de limiter le développement de certains micro-organismes d'altération. Elles contribuent ainsi à préserver la qualité du produit et à maîtriser sa conservation tout au long de sa durée de vie.

Quels sont les défis de demain de la production de flore d'affinage ?

L'un des principaux défis sera de continuer à répondre aux attentes des consommateurs. Nous devons notamment être capables de développer des flores permettant d'obtenir des produits toujours plus qualitatifs, avec des profils aromatiques variés et maîtrisés,

tout en répondant aux nouvelles attentes du marché : réduction du sel, réduction du gras, évolution des recettes, allongement de la durée de vie, réduction des pertes et optimisation des procédés. Les biosolutions microbiennes sont justement étudiées pour agir sur ces différents leviers.

L'innovation, ici, ne commence pas toujours par remplacer un processus naturel. Elle peut commencer par mieux comprendre une alliance très ancienne entre l'humanité et le vivant.»



**« Derrière un fromage se trouve donc un véritable travail de sélection, d'association et de maîtrise des micro-organismes. »
Mariana Brugière**

UNE TECHNOLOGIE DE LA RELATION

Sol, plante, eau, aliment, peau, intestin : nos marchés les séparent soigneusement, mais les fonctions biologiques, elles, les relient sans y prêter attention. Une souche aide une plante à accéder à ses nutriments, une autre construit l'arôme d'un fromage, un consortium renforce une station d'épuration, une fermentation transforme un extrait végétal, et d'autres micro-organismes encore interagissent avec le microbiote intestinal. Présentées dans un organigramme, ces activités appartiennent à des métiers différents. Regardées depuis la microbiologie, elles ne sont que les expressions successives d'un même savoir : identifier une fonction, sélectionner une souche, la cultiver, la stabiliser, puis l'inscrire dans un système vivant.

Du champ à la pharmacie

Le prochain déplacement de Greencell se situe du côté de la santé. La collection de 1 400 isolats issus du microbiote intestinal ouvre des perspectives pour des probiotiques de précision destinés à l'enfant ou à l'adulte, et, à plus long terme, pour des produits biothérapeutiques vivants ; ce passage vers le pharmaceutique demandera des niveaux de preuve, de caractérisation et de conformité bien supérieurs à ceux de l'agronomie ou de l'alimentaire. Il montre pourtant la continuité du chemin plutôt qu'une rupture : Greencell ne change pas de métier, l'entreprise étend vers la santé une compétence construite ailleurs, seules les exigences et les finalités changent d'échelle.

Le climat comme accélérateur

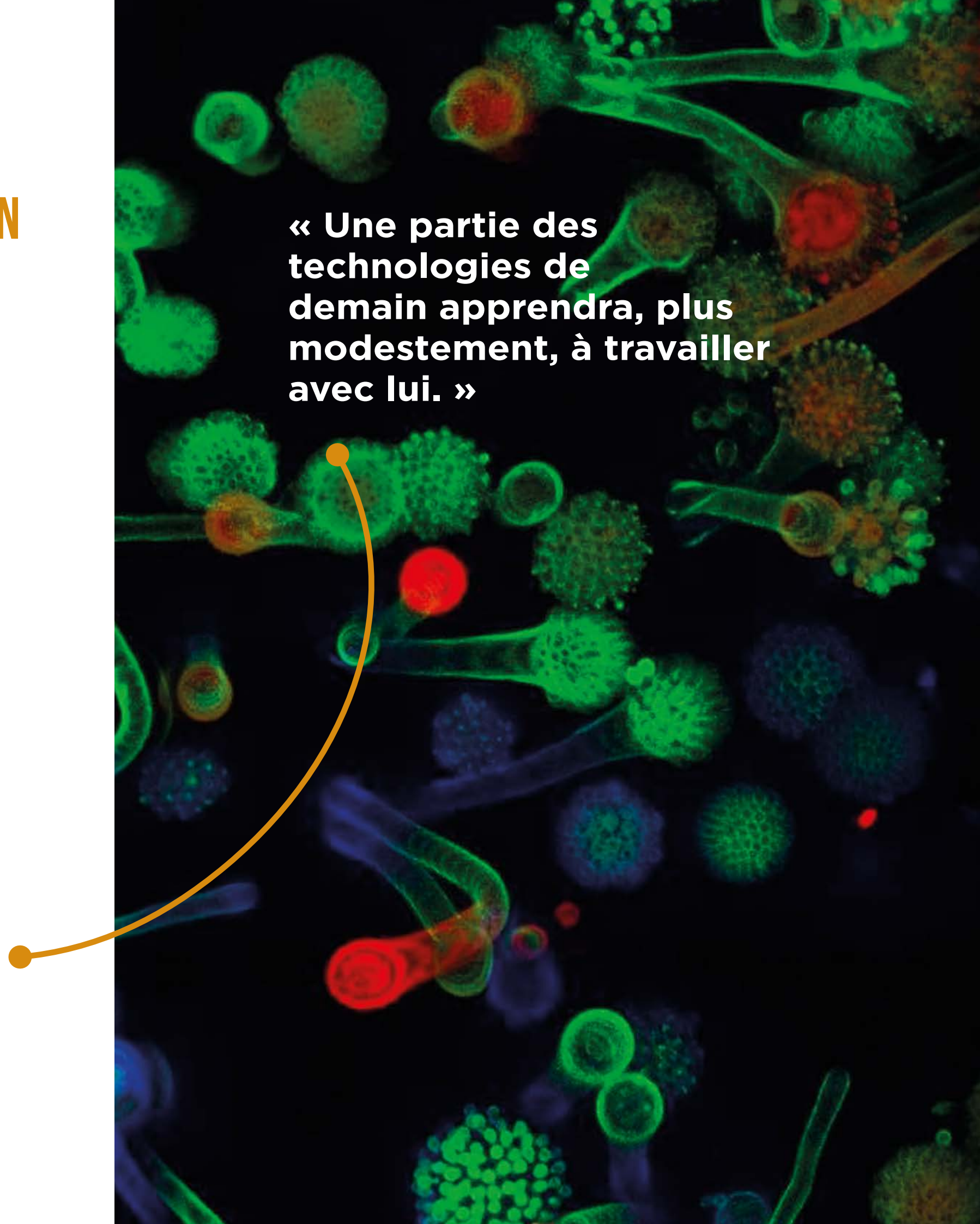
La même transversalité apparaît face au changement climatique. Dans les sols, il faut aider les cultures à supporter la sécheresse et la salinité ; dans les plans d'eau, répondre à des températures plus élevées ; dans l'assainissement, traiter des effluents plus concentrés ; dans l'industrie, produire avec moins d'énergie et moins de chimie. Aucune souche ne répondra seule à l'ensemble de ces problèmes, mais la microbiologie propose une autre manière de chercher : partir des fonctions que le vivant a développées au fil de son évolution, puis comprendre à quelles conditions elles peuvent devenir des solutions.

Une technologie de la relation

Une LifeTech ne devrait peut-être pas se définir seulement comme une technologie appliquée au vivant. Sa différence tient à ce qu'elle prend soin des relations qui rendent la vie possible, entre une racine et son sol, une microflore et son effluent, une souche et son hôte ; et cette idée impose une responsabilité, puisque plus une technologie devient capable d'intervenir dans ces relations, plus elle doit savoir mesurer ses effets et ses limites. Nous avons longtemps cherché des technologies capables de remplacer le vivant. Une partie des technologies de demain apprendra, plus modestement, à travailler avec lui.

« Une partie des technologies de demain apprendra, plus modestement, à travailler avec lui. »

« Nous avons longtemps cherché des technologies capables de remplacer le vivant. »



LE VIVANT POUR REDONNER VIE À L'EAU

L'eau traverse tout ce qui vit. Les organismes, les sols, les plantes, les écosystèmes. Elle relie la santé, l'agriculture, l'alimentation, l'industrie et l'environnement. Pourtant, une fois utilisée, une part considérable de cette ressource change encore de statut dans nos esprits : elle devient une eau «usée», quelque chose dont il faudrait se débarrasser.

À mesure que la pression sur les ressources hydriques augmente, cette vision devient difficilement soutenable. L'enjeu n'est plus seulement de prélever moins d'eau. Il est aussi de mieux traiter celle que nous utilisons, d'en préserver la qualité et, lorsque les conditions sanitaires et réglementaires le permettent, de la faire entrer à nouveau dans le cycle des usages. L'ONU considère aujourd'hui le traitement, le recyclage et la réutilisation sûre des eaux usées comme un levier majeur pour réduire la pollution des écosystèmes et préserver les ressources en eau douce.

ET SI UNE PARTIE DE LA RÉPONSE SE TROUVAIT DÉJÀ DANS L'EAU ELLE-MÊME ?

Une station d'épuration est aussi un écosystème microbiologique. Des communautés de micro-organismes y dégradent naturellement une partie de la matière organique. Lorsque cette biologie endogène ne suffit plus, Greencell intervient non pour la remplacer, mais pour renforcer ses capacités. L'entreprise sélectionne des souches de micro-organismes pour leurs fonctions spécifiques et les associe afin d'améliorer les performances biologiques du traitement.

C'est le principe de la bioaugmentation.

Avec sa gamme MycoEpur®, Greencell utilise notamment des champignons filamenteux et, selon les applications, des souches bactériennes sélectionnées. Les complexes enzymatiques qu'ils produisent permettent de biodégrader des molécules organiques complexes et de renforcer l'action des populations microbiennes présentes dans le milieu. Les applications concernent les stations d'épuration urbaines et industrielles, les effluents de différentes industries, mais aussi les lacs et plans d'eau.

La logique change alors d'échelle. Traiter une eau usée permet de mieux protéger le milieu dans lequel elle retourne. La rendre réutilisable peut également contribuer à préserver l'eau douce en réservant celle-ci aux usages qui l'exigent. L'eau traitée peut, dans les cadres appropriés, retrouver certains usages agricoles, industriels ou municipaux. C'est précisément cette circularité que les politiques internationales de l'eau cherchent aujourd'hui à accélérer.

Cette logique rejoint directement celle des LifeTechs.

COSMETICS

COSMETICS

THE AGE OF LIVING BEAUTY

La beauté entre dans l'âge du vivant

COSMETICS

La cosmétique change de profondeur. Pendant longtemps, elle a principalement cherché à agir sur ce qui se voit : rides, taches, imperfections, sécheresse, perte d'éclat. Aujourd'hui, la science remonte vers ce qui les produit.

Longévité cellulaire, mitochondries, sénescence, microbiome, immunité, exposome, interactions neuronales, mécanismes de réparation et de régénération : la peau appar it de moins en moins comme une simple surface et de plus en plus comme un système vivant complexe, en relation permanente avec son environnement et avec le reste du corps. Cette évolution transforme la notion même de performance cosmétique.

Corriger ne suffit plus. Il faut comprendre. Protéger ne suffit plus toujours. Il faut préserver les capacités d'adaptation. Réparer un dommage ne suffit pas à régénérer.

Et la naturalité elle-même change de sens: biotechnologies, fermentation, upcycling ou agriculture régénérative

permettent désormais d'associer le vivant à des niveaux de précision scientifique autrefois réservés à la chimie de synthèse.

La cosmétique se rapproche ainsi de territoires qu'elle observait autrefois à distance : prévention, longévité, nutrition, neurosciences, microbiologie, santé environnementale. Non pour devenir médecine. Mais parce que leurs questions commencent à se rencontrer.

Dans les pages qui suivent, nous explorons ce déplacement: des grandes transformations scientifiques de la beauté aux nouvelles approches de la régénération, puis aux innovations qui les rendent déjà concrètes. De la cosmétique à l'environnement, nous comprenons mieux les liens invisibles.

01

UNDERSTAND

LA BEAUTÉ ENTRE DANS L'ÂGE DU VIVANT

Longévité, microbiome, exposome, neurosciences, biotechnologies : pourquoi la cosmétique commence à penser la peau comme un système vivant.

02

REGENERATE

RÉGÉNÉRATIONS. RETROUVER LA CAPACITÉ DU VIVANT

De la peau aux sols, la régénération déplace l'ambition : ne plus seulement réduire l'impact ou réparer les dommages, mais restaurer des capacités.

03

PRESERVE

DE CORRIGER   PRÉSERVER

Longévité cutanée, pigmentation, texture : trois innovations qui montrent comment la recherche agit désormais en amont des signes visibles.

04

REINVENT

FORMULER AUTREMENT, SANS RENONCER AU PLAISIR

Naturalité, upcycling et microbiote transforment les ingrédients fonctionnels et la conception même des formules.

05

PREVENT

QUAND LA COSMÉTIQUE ENTRE DANS LE CHAMP DE LA PRÉVENTION

Avec les bactériophages, le soin intime ouvre un territoire inédit entre dermocosmétique, microbiote et biotechnologies.

LA BEAUTÉ ENTRE DANS L'ÂGE DU VIVANT

Longévité, microbiome, exposome, neurosciences, biotechnologies : la cosmétique ne cherche plus seulement à corriger ce qui se voit. Elle apprend à comprendre, protéger et prolonger ce qui permet à la peau de rester vivante.

Pendant des décennies, la cosmétique a regardé la peau comme on regarde un miroir. Une ride apparaissait : il fallait la réduire. Une tache se formait : il fallait l'atténuer. La peau perdait de sa fermeté, de son éclat, de son hydratation : il fallait restaurer ce qui semblait disparaître.

Cette approche n'a pas disparu. Mais quelque chose de plus profond est en train de se produire. La recherche ne s'intéresse plus seulement aux manifestations visibles du vieillissement. Elle remonte vers leurs causes biologiques. Fonction mitochondriale, autophagie, sénescence cellulaire, stress oxydatif, inflammation chronique, protéostase, communication intercellulaire, microbiome, épigénétique : le vocabulaire de la cosmétique se rapproche progressivement de celui de la biologie du vieillissement.

Ce glissement n'est pas seulement sémantique.

La question n'est plus uniquement : comment paraître plus jeune ? Elle devient : comment permettre à la peau de fonctionner correctement plus longtemps ? C'est tout le passage de l'anti-âge à la longévité cutanée.

Une revue scientifique publiée en 2025 va jusqu'à proposer le concept de skinspan, par analogie avec le healthspan, la durée de vie passée en bonne santé. Elle défend une cosmétique de longévité qui ne se contenterait plus d'améliorer temporairement l'apparence, mais devrait agir sur des mécanismes biologiques reconnus du vieillissement et démontrer que structure, fonction et vitalité de la peau sont durablement préservées.

La ride est donc la partie visible d'une histoire beaucoup plus profonde.

LE VIEILLISSEMENT N'EST PLUS UNE RIDE

C'est probablement l'un des changements scientifiques les plus importants de ces dernières années. Vieillir n'est pas un mécanisme unique. Les chercheurs décrivent aujourd'hui un ensemble de processus qui s'alimentent mutuellement : instabilité génomique, dérégulations épigénétiques, perte de protéostase, dysfonction mitochondriale, sénescence cellulaire, altération de la communication entre cellules, épuisement de certaines populations cellulaires ou encore dérégulation des mécanismes de réponse aux nutriments. La ride est donc la partie visible d'une histoire beaucoup plus profonde.

La sénescence cellulaire en offre une illustration spectaculaire. Avec l'âge et les agressions successives, certaines cellules cessent de se diviser sans pour autant disparaître. Elles peuvent alors sécréter des molécules inflammatoires susceptibles d'altérer leur environnement. La recherche sur ces cellules sénescents, parfois surnommées « cellules zombies », est devenue un domaine majeur de la biologie du vieillissement. Dans la peau, leur accumulation est aujourd'hui étudiée comme l'un des mécanismes contribuant à la dégradation progressive des fonctions cutanées.

Les mitochondries constituent un autre terrain majeur. Elles ne sont plus seulement considérées comme les centrales énergétiques de la cellule. Leur dysfonctionnement relie stress oxydatif, inflammation de bas grade, sénescence et perte progressive des capacités fonctionnelles de la peau.

Ainsi, la cosmétique se rapproche d'une idée déjà centrale en médecine préventive : agir avant que la dégradation ne devienne visible. Préserver plutôt que réparer trop tard.

LA PEAU DEVIENT UN INDICATEUR DE SANTÉ

Cette évolution est d'autant plus intéressante que la peau cesse progressivement d'être considérée comme un organe isolé. En 2025, une revue publiée dans Nature Aging la décrit comme une véritable « fenêtre » permettant d'étudier les interactions

entre exposome, vieillissement cutané et vieillissement biologique général. Les mécanismes observés dans la peau sont liés à des processus systémiques, et la relation pourrait être bidirectionnelle. C'est une transformation considérable du regard porté sur la beauté.

La peau est notre plus grande interface avec le monde extérieur. Elle reçoit la lumière, la chaleur, les particules, les variations climatiques, les agressions chimiques et biologiques. Elle possède son propre système immunitaire, dialogue avec le système nerveux, abrite des milliards de micro-organismes et participe à des mécanismes métaboliques complexes. La maintenir en bonne santé n'est donc plus seulement une affaire d'apparence. Elle constitue un sujet de résilience biologique.

Cette évolution rencontre d'ailleurs une attente sociétale très forte. En 2025, « avoir l'air en bonne santé » demeure la première définition de la beauté pour 46 % des consommateurs interrogés par Euromonitor. Trois personnes sur quatre considèrent qu'une routine de beauté régulière contribue à leur bien-être et à leur confiance, tandis que la prévention des signes du vieillissement progresse parmi les motivations d'achat. La jeunesse parfaite perd peu à peu son monopole. La vitalité gagne du terrain.

APRÈS LE MICROBIOME, LE HOLOBIONTE

Pendant longtemps, nous avons cru que prendre soin de la peau consistait essentiellement à prendre soin de ses propres cellules. Puis le microbiome est arrivé.

La peau abrite une communauté extrêmement complexe de bactéries, champignons, virus et autres micro-organismes. Ces populations participent notamment aux fonctions de barrière, à la protection contre certains pathogènes et à la

régulation immunitaire. Leur déséquilibre, la dysbiose, est associé à plusieurs états inflammatoires et altérations cutanées.

Une nouvelle étape se dessine désormais. Il ne s'agit plus seulement d'étudier le microbiote d'un côté et la peau de l'autre, mais leurs interactions. C'est le concept de holobionte : considérer l'être humain et les micro-organismes avec lesquels il vit comme un système biologique interdépendant.

Les techniques de métagénomique et de métaprotéomique permettent progressivement d'aller au-delà de l'inventaire des espèces présentes pour comprendre ce qu'elles font, les protéines qu'elles expriment et la manière dont elles dialoguent avec leur hôte. Greentech travaille depuis plusieurs années sur cette approche systémique et sur les interactions entre peau et microbiote, notamment par métaprotéomique.

La conséquence est presque philosophique. Prendre soin de la peau signifie désormais prendre soin d'un écosystème.

Et ce principe modifie jusqu'à la formulation elle-même. Un nettoyant ne doit plus simplement bien nettoyer. Un conservateur, un tensioactif ou un actif doivent aussi être interrogés sur la manière dont ils interfèrent avec l'équilibre microbien. Une revue publiée en 2026 souligne cependant un point essentiel : les stratégies dites « microbiome-friendly » sont prometteuses, mais les critères scientifiques et méthodologiques permettant d'étayer certaines revendications doivent encore être harmonisés. La science progresse précisément parce qu'elle accepte encore ce qu'elle ne sait pas.

Prendre soin de la
peau signifie désormais
prendre soin d'un
écosystème.

Nous passons d'une cosmétique du bouclier à une cosmétique de la résilience.

L'EXPOSOME : LA COSMÉTIQUE FACE AU MONDE RÉEL

Une autre frontière s'efface : celle qui séparait le vieillissement biologique de l'environnement. Nous vieillissons avec nos gènes, mais aussi avec ce qui nous entoure.

Rayonnement solaire, pollution atmosphérique, tabac, alimentation, stress, températures, habitudes de vie : l'ensemble de ces expositions constitue ce que la recherche appelle l'exposome. Le sujet prend une importance nouvelle avec le changement climatique.

Pollution et rayonnement solaire peuvent agir de manière synergique. Les températures élevées peuvent modifier la fonction barrière et le microbiome. Les phénomènes inflammatoires et le stress oxydatif créent des chaînes de réactions dont les conséquences dépassent largement le simple « teint terne » autrefois évoqué par la cosmétique antipollution.

La protection change donc elle aussi de sens. Hier, protéger signifiait principalement faire écran. Demain, protéger signifiera probablement augmenter la capacité d'adaptation : préserver la barrière, soutenir les mécanismes antioxydants, limiter l'inflammation, maintenir l'équilibre du microbiome et aider la peau à retrouver son homéostasie après une agression. Nous passons d'une cosmétique du bouclier à une cosmétique de la résilience.

LA PEAU PENSE-T-ELLE ?

La formulation est volontairement provocatrice. Mais la science découvre à quel point la frontière entre peau, système nerveux et émotions est plus poreuse que nous ne l'imaginons.

La peau possède des récepteurs, des neurones sensoriels et des mécanismes neuro-immunitaires qui permettent un dialogue continu avec le système nerveux. Stress, douleur, démangeaisons, inflammation et certaines réponses cutanées sont reliés par ces voies complexes. De là est née la recherche en neurocosmétique.

Une revue publiée en 2025 décrit l'axe peau-cerveau comme un territoire émergent situé à la rencontre des neurosciences, de la dermatologie et de la psychodermatologie. Les auteurs s'intéressent notamment aux mécanismes neurocutanés, aux interactions avec le système immunitaire et au rôle possible du microbiome.

Il faut rester prudent. Tous les discours sur le « bien-être émotionnel » n'ont pas encore le même niveau de preuve et certains chercheurs alertent précisément contre l'utilisation trop extensive du mot neurocosmétique. Mais le territoire scientifique est réel. Et une idée progresse : la peau ne peut plus être comprise sans étudier les conversations qu'elle entretient avec le reste du corps.

LA NATURE DEVIENT TECHNOLOGIQUE

Un autre vieux clivage est en train de disparaître. Nature contre technologie.

Pendant des années, la cosmétique naturelle s'est largement construite sur l'idée de

retrait : moins de synthèse, moins d'ingrédients, moins de transformation. Les biotechnologies proposent une autre voie.

Fermentation, biocatalyse, ingénierie métabolique, cultures cellulaires et microbiennes, extraction verte permettent désormais de produire ou d'enrichir certaines molécules naturelles avec davantage de précision, de reproductibilité et parfois moins de pression sur les ressources.

Une revue scientifique de 2025 consacrée à la biosynthèse d'ingrédients cosmétiques par fermentation montre comment les microorganismes peuvent devenir de véritables plateformes de production d'antioxydants, d'agents hydratants ou réparateurs et de molécules fonctionnelles.

Parallèlement, l'upcycling transforme des coproduits issus notamment de l'agriculture et de l'agroalimentaire en nouvelles sources de molécules à haute valeur ajoutée. La circularité ne consiste plus seulement à recycler un emballage : elle entre dans la conception même de l'ingrédient.

Le futur de la naturalité pourrait donc être paradoxalement plus technologique. Non pas davantage transformer la nature, mais apprendre à en mobiliser les mécanismes avec plus d'intelligence et moins de matière.

ET LA COSMÉTIQUE DEVIENT MESURABLE

Cette sophistication scientifique produit une dernière exigence. La preuve.

Le consommateur connaît désormais les ingrédients, compare les concentrations, consulte des publications, photographie sa peau et interroge parfois une intelligence artificielle avant même d'entrer dans un magasin.

Le prestige cosmétique lui-même se transforme. Selon Euromonitor, l'efficacité prouvée et la crédibilité clinique occupent désormais une place déterminante dans la perception des produits premium. Parmi les utilisateurs de solutions beauté à domicile interrogés, 77 % déclarent rechercher une efficacité démontrée.

La recherche accompagne cette demande. Imagerie cutanée, transcriptomique, protéomique, métabolomique, séquençage du microbiome et nouveaux biomarqueurs permettent de mesurer ce que l'œil ne pouvait autrefois qu'estimer.

L'intelligence artificielle ajoute une couche supplémentaire en combinant données biologiques, images, environnement et habitudes individuelles.

La personnalisation pourrait ainsi progressivement passer du « type de peau » à une compréhension beaucoup plus dynamique de la peau d'une personne donnée, à un moment donné, dans un environnement donné. Une revue systématique récente souligne cependant que ces approches restent encore inégalement validées et que la diversité des populations étudiées, les biais algorithmiques et la protection des données devront être sérieusement adressés.

La technologie ne remplacera pas la biologie. Elle permettra peut-être enfin de mieux la lire.

DE LA BEAUTÉ À LA VIE

Toutes ces tendances pourraient être observées séparément. Longévité. Microbiome. Sénescence. Exposome. Neurobiologie. Biotechnologies. Personnalisation. Mais ce serait manquer ce qui les relie. Elles décrivent toutes le même déplacement.

La cosmétique quitte progressivement une vision fragmentée du corps pour entrer dans une compréhension plus systémique du vivant. La peau n'est plus seulement une enveloppe à embellir. Elle est un organe dynamique, un écosystème, une interface, un

système de communication et de défense dont il faut préserver les capacités dans le temps.

Cette transformation rapproche naturellement la cosmétique de territoires qu'elle côtoyait jusqu'ici sans vraiment les rejoindre : prévention, nutrition, sciences du vieillissement, immunologie, neurosciences, santé environnementale.

La frontière entre beauté et santé devient plus poreuse. En 2026, Euromonitor observe d'ailleurs le même phénomène depuis l'autre rive : la santé grand public se rapproche de la beauté, portée notamment par la longévité et la beauty from within.

Il ne s'agit pas de transformer la cosmétique en médecine. Il s'agit de reconnaître que leurs questions commencent parfois à se rencontrer.

Comment maintenir une fonction plutôt que réparer sa perte ? Comment renforcer la résilience d'un système vivant ? Comment préserver ses équilibres ? Comment accompagner sa capacité à se régénérer ? Comment intervenir avec davantage de précision et moins d'impact ?

La beauté de demain ne cherchera peut-être plus à arrêter le temps. Elle cherchera à donner au vivant les moyens de mieux le traverser.



RÉGÉNÉRATIONS RETROUVER LA CAPACITÉ DU VIVANT

Réduire notre impact fut une nécessité. Restaurer les capacités du vivant pourrait devenir la prochaine étape. De la peau aux sols, des biotechnologies aux ressources naturelles, la régénération installe une nouvelle idée au cœur de la cosmétique : ne plus seulement moins dégrader, mais aider les systèmes vivants à retrouver leur capacité à fonctionner, se renouveler et durer.

Il y a un détail important dans le thème choisi par Cosmetic 360 cette année. Le mot est au pluriel. Régénérations.

Régénération de la peau. Des sols. Des ressources. De la biodiversité. Des matières. Des modèles industriels. Ce pluriel dit quelque chose de notre époque.

Pendant plusieurs décennies, la transition environnementale s'est principalement construite autour d'une logique de réduction : consommer moins de ressources, produire moins de déchets, émettre moins de carbone, utiliser moins d'eau, diminuer notre empreinte. Cette logique reste indispensable. Mais elle porte en elle une limite évidente : moins dégrader un système déjà fragilisé ne suffit pas nécessairement à lui rendre sa vitalité.

C'est précisément le déplacement proposé cette année par Cosmetic 360. La régénération y est envisagée au-delà de

la durabilité, avec l'ambition de restaurer, revitaliser et produire un impact positif sur l'ensemble de la chaîne de valeur cosmétique. Un nouveau verbe entre dans le vocabulaire de l'industrie. Et avec lui, peut-être, une nouvelle façon de penser.

RÉPARER, N'EST PAS RÉGÉNÉRER

La distinction est importante. Réparer consiste à intervenir sur un dommage. Régénérer suppose davantage : restaurer la capacité d'un système à produire de nouveau ses propres conditions de fonctionnement.

La biologie connaît cette idée depuis toujours. La peau elle-même est un organe profondément régénératif. Son renouvellement dépend notamment de cellules souches résidentes, de la

matrice extracellulaire, des cellules immunitaires et d'un ensemble complexe de signaux métaboliques, mécaniques et inflammatoires.

Avec l'âge, ces dialogues se dérèglent. La capacité des cellules souches à assurer correctement le renouvellement tissulaire se modifie, les fibroblastes perdent une partie de leurs fonctions, la matrice extracellulaire se détériore et l'inflammation chronique peut perturber les mécanismes de réparation. Les recherches actuelles ne cherchent donc plus seulement à masquer les conséquences visibles du vieillissement, mais à comprendre comment restaurer ou soutenir les mécanismes qui permettent au tissu de conserver ses fonctions.

Cette évolution rapproche plusieurs domaines longtemps séparés. La dermatologie régénérative étudie cellules souches, vésicules extracellulaires,

biomatériaux ou modulation de l'environnement cellulaire. La recherche sur la longévité s'intéresse aux mécanismes permettant aux cellules de rester fonctionnelles plus longtemps. La cosmétique explore l'autophagie, les mitochondries, l'inflammation, la sénescence ou encore le microbiome. Les frontières bougent.

Une revue récente consacrée aux liens entre médecine régénérative, dermatologie esthétique et longévité décrit précisément ce passage d'interventions esthétiques temporaires vers des stratégies visant davantage la préservation de la vitalité et des fonctions cutanées dans le temps.

Mais cette convergence impose aussi de la rigueur. Dans le domaine médical lui-même, les chercheurs rappellent que stimuler la réparation ou améliorer la cicatrisation ne signifie pas nécessairement avoir obtenu une véritable régénération tissulaire. Le mot doit donc correspondre à des mécanismes et à des résultats mesurables, pas devenir le nouveau synonyme commode d'« anti-âge ». La régénération devra être prouvée.

DE LA PEAU AU SOL

Voilà peut-être le changement conceptuel le plus intéressant. La même question apparaît aujourd'hui à une tout autre échelle.

Qu'est-ce qu'un sol en bonne santé ? Pas simplement un support capable de produire une plante aujourd'hui. Un système capable de continuer à fonctionner demain.

Un sol vivant contient des communautés microbiennes, transforme la matière organique, stocke et restitue des nutriments, retient l'eau, participe au cycle du carbone et entretient des relations complexes avec les racines et les écosystèmes qui l'entourent. L'agriculture régénérative cherche précisément à retrouver ces fonctions.

Elle ne se définit pas simplement par l'abandon d'une pratique ou l'adoption d'une autre. La recherche récente insiste de plus en plus sur une approche systémique : santé des sols, matière organique, biodiversité, couverture végétale, réduction

de certaines perturbations et adaptation des pratiques aux écosystèmes locaux.

Les travaux scientifiques deviennent suffisamment nombreux pour en mesurer certains effets. Une revue publiée en 2025 retrouve notamment des améliorations de plusieurs services écosystémiques des sols, même si elle souligne également le besoin de davantage d'études comparatives de long terme. Une méta-analyse publiée la même année montre que certaines pratiques peuvent augmenter le carbone organique des sols, avec des effets dépendant fortement du contexte et de la durée.

Cette prudence scientifique est importante. Il n'existe pas de bouton « régénérer ». Un écosystème ne se répare pas avec une promesse.

LA COSMÉTIQUE COMMENCE À PENSER EN SYSTÈMES

C'est peut-être ici que les différentes régénérations se rejoignent. La cosmétique a longtemps raisonné en éléments séparés.

La plante fournissait l'ingrédient. L'ingrédient produisait l'effet. Le produit était appliqué sur la peau. L'emballage était ensuite jeté ou recyclé. Chacun de ces objets pouvait être optimisé séparément.

La régénération oblige au contraire à observer les relations entre les choses. Comment la plante a-t-elle été cultivée ? Que devient le sol après sa récolte ? Peut-on obtenir la molécule recherchée sans prélever davantage de biomasse ? Un coproduit agricole peut-il devenir une nouvelle ressource ? Peut-on utiliser un microorganisme pour produire une molécule auparavant extraite d'une plante rare ? Que devient l'eau utilisée par le procédé ? Comment la formulation interagit-elle avec le microbiome cutané ? Que reste-t-il du produit après son usage ?

Le changement est profond. L'objet de l'innovation n'est plus seulement

l'ingrédient. Il devient le système qui permet à cet ingrédient d'exister.

LES BIOTECHNOLOGIES CHANGENT L'ÉQUATION

C'est l'un des domaines dans lesquels la régénération rencontre le plus directement l'innovation. Microorganismes, microalgues, fermentation, bioconversion, cultures cellulaires et ingénierie métabolique permettent progressivement d'imaginer d'autres manières de produire les molécules dont la cosmétique a besoin.

La nature n'est plus seulement considérée comme une réserve dans laquelle prélever. Elle devient un ensemble de mécanismes biologiques dont nous pouvons apprendre. Produire grâce au vivant plutôt que simplement extraire du vivant.

La différence est considérable. Elle peut permettre de diminuer la pression exercée sur certaines ressources, de contrôler plus précisément les conditions de production, de valoriser des matières secondaires ou encore de créer des molécules complexes avec des procédés biologiques.

L'économie circulaire participe de la même transformation. L'upcycling de coproduits agricoles et agroalimentaires devient aujourd'hui une source croissante d'ingrédients fonctionnels et d'actifs cosmétiques. Mais là encore, l'enjeu futur sera probablement de dépasser la simple valorisation des déchets pour penser l'ensemble du cycle de vie.

La circularité permet de boucler une boucle. La régénération pose une question supplémentaire : Dans quel état laissons-nous le système après notre passage ?

Il n'existe pas de bouton « régénérer ». Un écosystème ne se répare pas avec une promesse.

DE MOINS D'IMPACT À PLUS DE CAPACITÉ

C'est là que la notion devient particulièrement intéressante. Car la régénération n'est pas nécessairement synonyme de « plus ». Un produit régénératif n'est pas un produit auquel on aurait simplement ajouté davantage de performances ou davantage de technologie. Il s'agit au contraire de rechercher ce qui permet à un système vivant de retrouver sa capacité propre.

Pour la peau, cela peut signifier soutenir sa barrière, son renouvellement, son équilibre microbien, sa matrice ou ses mécanismes de défense. Pour un sol, retrouver fertilité biologique, matière organique, biodiversité et capacité de rétention. Pour une ressource naturelle, permettre son renouvellement. Pour un processus industriel, sortir progressivement d'une logique linéaire d'extraction, transformation et élimination.

À toutes ces échelles, une même idée apparaît : la performance ne consiste plus seulement à obtenir un résultat. Elle consiste aussi à préserver la possibilité des résultats futurs.

MESURER CE QUE L'ON PRETEND RESTAURER

La prochaine frontière sera donc celle de la preuve. Cosmetic 360 en fait d'ailleurs explicitement l'un des axes de son

programme 2026, avec des conférences consacrées aux méthodes permettant de mesurer les effets régénératifs, sur la peau comme sur les procédés et les ressources.

Car comment mesurer une régénération ? Par rapport à quel état initial ? Sur quelle durée ? Avec quels indicateurs ?

Un sol peut stocker davantage de carbone mais perdre certaines espèces. Une matière recyclée peut éviter une extraction mais demander davantage d'énergie. Une peau peut présenter une amélioration clinique sans que son mécanisme régénératif soit démontré.

La régénération impose donc une pensée plus complexe que celle du simple « avant/après ». Elle suppose des biomarqueurs, des analyses multicritères, des mesures dans le temps et une capacité à accepter que tous les bénéfices ne puissent être résumés dans un chiffre unique. Le mot est puissant. Il devra donc être exigeant.

UNE MÊME QUESTION, À TOUTES LES ÉCHELLES DU VIVANT

Peau, microbiome, plantes, sols, biodiversité, cellules, ressources. Il serait tentant de considérer ces sujets comme des disciplines distinctes. Mais la science contemporaine révèle au contraire combien ils sont interdépendants.

Le vivant fonctionne rarement seul. Il échange, coopère, compense, s'adapte, se répare. Et lorsqu'un de ces réseaux devient trop fragile, maintenir seulement son état présent finit par ne plus suffire. Il faut

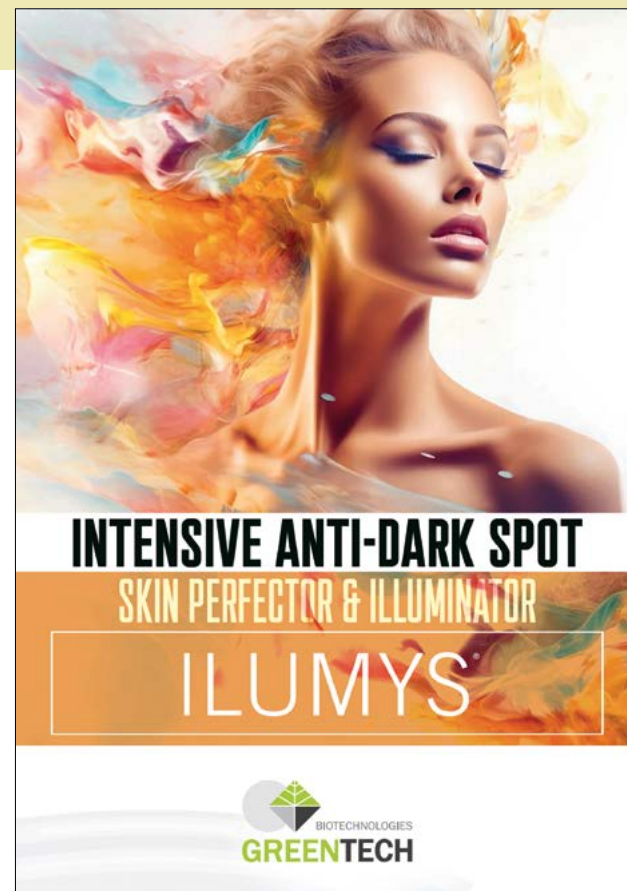
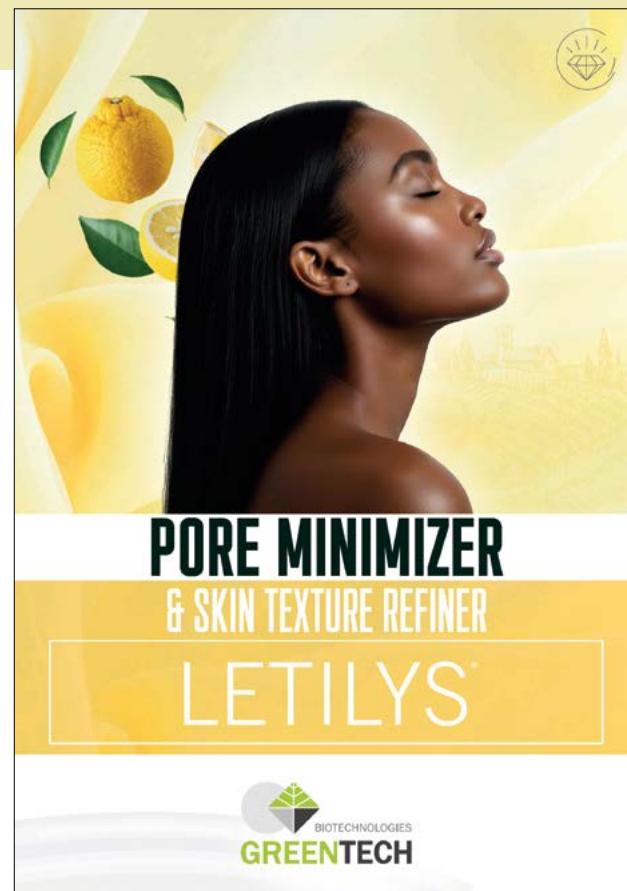
retrouver de la capacité. De la résilience. De la possibilité.

C'est probablement ce que le mot régénération apporte de plus intéressant à notre époque. Il transforme progressivement notre objectif. Ne plus seulement empêcher le vivant de disparaître. Lui permettre de continuer.

Et c'est ici que la régénération rejoint naturellement une réflexion plus vaste. Protéger ce qui existe. Réparer ce qui a été altéré. Régénérer ce qui doit retrouver sa capacité. Soutenir les conditions qui permettront à la vie de continuer à fonctionner.

COMMENT MESURER UNE RÉGÉNÉRATION ?
PAR RAPPORT À QUEL ÉTAT INITIAL ?
SUR QUELLE DURÉE ?
AVEC QUELS INDICATEURS ?

LA RÉGÉNÉRATION EST
ENVISAGÉE AU-DELÀ DE
LA DURABILITÉ, AVEC
L'AMBITION DE RESTAURER,
REVITALISER ET PRODUIRE
UN IMPACT POSITIF SUR
L'ENSEMBLE DE LA CHAÎNE
DE VALEUR COSMÉTIQUE.
UN NOUVEAU VERBE ENTRE
DANS LE VOCABULAIRE DE
L'INDUSTRIE



DE CORRIGER À PRÉSERVER

Une nouvelle génération d'actifs pense désormais la peau dans le temps

Pendant longtemps, la cosmétique s'est construite autour d'une logique simple : identifier un signe visible, puis tenter de le corriger. Une ride, une tache, un pore, une perte d'éclat.

Cette logique n'a pas disparu. Mais la science de la peau ouvre aujourd'hui une perspective plus large. Il ne s'agit plus seulement d'agir sur ce que l'on voit, mais de comprendre ce qui, en profondeur, permet à la peau de rester fonctionnelle, équilibrée et résistante dans le temps. Autrement dit, la beauté commence à parler le langage de la santé.

C'est dans cette évolution que s'inscrivent plusieurs des dernières innovations développées par Greentech.

dont il faudrait effacer les marques du temps. Elle devient un système vivant dont on cherche à préserver le capital santé.

TIMELYS® avait d'ailleurs reçu le Grand Prix du Jury de Cosmetic 360 Paris 2024 et le premier prix BSB Innovation Award Cosmetics 2025 dans la catégorie matière première innovante.

ILUMYS® : COMPRENDRE LA TACHE AVANT DE L'EFFACER

La même logique apparaît avec ILUMYS®. Les taches pigmentaires liées à l'âge sont traditionnellement abordées par la mélanine. Or leur formation est plus complexe. Greentech a donc travaillé simultanément sur deux phénomènes : la dérégulation de la mélanogenèse et l'accumulation de lipofuscine, un pigment brun-jaune qui s'accumule progressivement avec l'âge.

Issu de racines de gingembre riches en gingérols, ILUMYS® agit également sur différents mécanismes associés à la formation des taches, parmi lesquels le stress oxydatif, l'inflammation, le facteur de croissance SCF et RGMB, une molécule d'origine neuronale récemment impliquée dans les interactions entre neurones et mélanocytes.

Cette lecture beaucoup plus systémique permet de travailler sur la pigmentation à sa source, plutôt que sur sa seule manifestation visuelle.

Dans l'étude clinique présentée par Greentech, l'utilisation d'ILUMYS® à 0,5% conduit notamment à une diminution mesurée de la densité et du contraste des taches, ainsi qu'à une amélioration de la luminosité et de l'homogénéité du teint.

LETILYS® : LA PEAU RÉELLE, PLUTÔT QUE LA PEAU FILTRÉE

Le troisième terrain paraît plus quotidien : les pores et la texture de peau. Mais là encore, LETILYS® dépasse la simple correction esthétique.

Développé à partir de fruit et de peau de yuzu, coproduits de la fabrication de jus, et titré en hespéridine, cet actif agit sur plusieurs mécanismes à l'origine de l'irrégularité cutanée : micro-inflammation, accumulation de cellules mortes, hyperkératinisation et affaiblissement de la matrice extracellulaire.

En favorisant la desquamation naturelle, en stimulant la synthèse de procollagène I et en réduisant certains marqueurs inflammatoires, LETILYS® agit à la fois sur la visibilité des pores et sur la qualité générale de la surface cutanée.

Après sept jours dans l'étude clinique présentée, les mesures montrent notamment une diminution du volume, de la surface et du périmètre des pores ainsi qu'une amélioration de plusieurs paramètres de rugosité.

Un résultat qui entre en résonance avec une évolution culturelle plus large : après des années dominées par la peau numérique, retouchée et filtrée, l'enjeu devient peut-être de nouveau celui de la peau réelle.

La convergence de ces trois innovations est révélatrice. Ride, tache ou pore restent les manifestations visibles. Mais la recherche se déplace en amont, vers les mécanismes qui déterminent la qualité et la résilience de la peau.

La cosmétique ne cherche plus seulement à faire paraître plus jeune. Elle commence à chercher comment rester en bonne santé plus longtemps.

FORMULER AUTREMENT, SANS RENONCER AU PLAISIR

Naturalité, upcycling et microbiote redessinent aussi les ingrédients fonctionnels

L'innovation cosmétique ne concerne pas seulement les actifs. Une révolution plus discrète se déroule à l'intérieur même des formules : émollients, tensioactifs, agents de texture, matières traditionnellement invisibles pour le consommateur deviennent à leur tour des territoires d'innovation.

L'équation est complexe. Il faut gagner en naturalité et réduire l'impact environnemental sans perdre ce qui a fait le succès de la cosmétique moderne: la douceur, la sensorialité, la mousse, le confort, la facilité d'utilisation. Deux innovations Greentech illustrent cette recherche d'un nouvel équilibre.

SENSOL 100® : LE TOUCHER SILICONE, SANS SILICONE

Les silicones occupent depuis longtemps une place centrale dans les formulations pour une raison simple : leur toucher est difficile à remplacer.

SENSOL 100® aborde le problème autrement. Cet émollient végétal est issu d'une fraction coproduite de la fabrication d'huile d'avocat au Kenya. Il transforme donc une matière secondaire en ingrédient cosmétique à haute valeur ajoutée. L'enjeu n'est pas simplement environnemental.

SENSOL 100® a été conçu pour reproduire cette sensation de glisse, de douceur et de velouté recherchée dans les silicones, tout en proposant un contenu d'origine naturelle de 100 %. Il peut être utilisé dans les soins de la peau, le maquillage et les produits capillaires.

Les tests sensoriels montrent des performances comparables au diméthicone sur plusieurs critères de formulation. Des

essais d'hydratation indiquent également une activité comparable à celle de l'huile de paraffine, tandis que les tests capillaires montrent des bénéfices en matière de douceur, de nutrition et de souplesse.

Mais l'étude protéomique conduite sur explants cutanés ouvre une dimension supplémentaire : SENSOL 100® ne se comporte pas uniquement comme une matière sensorielle. Les résultats rapportés montrent des effets sur la réponse antioxydante, le métabolisme énergétique, certains marqueurs inflammatoires et la protection de la matrice extracellulaire. L'ingrédient fonctionnel devient lui-même actif.

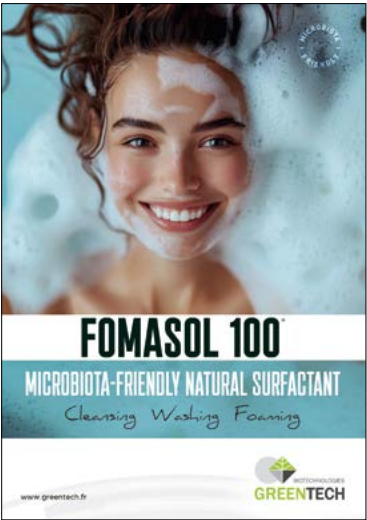
FOMASOL 100® : NETTOYER SANS FAIRE TABLE RASE

Le nettoyage pose une autre contradiction. Il doit retirer. Mais il ne doit pas tout retirer. Or certains tensioactifs peuvent perturber la barrière cutanée et l'écosystème microbien qui vit à sa surface. Développé à partir du fruit de Sapindus mukorossi, l'arbre à savon indien, FOMASOL 100® utilise des saponines naturelles pour proposer une action lavante et moussante plus douce. Il est entièrement d'origine naturelle selon ISO 16128. Les essais comparatifs présentés par Greentech montrent une mousse dense, stable et durable ainsi qu'un nettoyage progressif. Mais l'intérêt majeur du produit apparaît peut-être ailleurs : dans sa relation au microbiote.

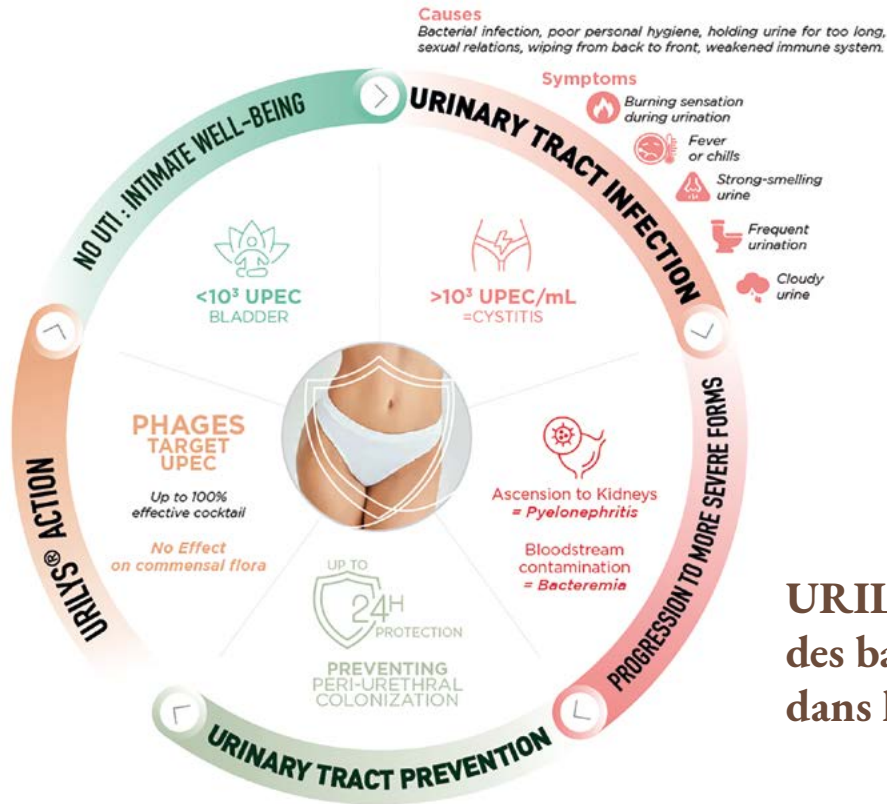
Les essais indiquent un impact faible ou nul sur plusieurs microorganismes commensaux étudiés, notamment Staphylococcus epidermidis et certaines souches de Cutibacterium acnes. Dans les applications d'hygiène intime, FOMASOL 100® préserve également les lactobacilles testés tout en inhibant les souches de Candida évaluées.

Cela change subtilement la définition même de la propreté. La peau n'est pas un territoire qu'il faudrait stériliser. C'est un écosystème avec lequel il faut apprendre à composer.

SENSOL 100® et FOMASOL 100® racontent ainsi la même transformation sous deux angles différents : remplacer ne suffit plus. L'alternative naturelle doit être au moins aussi performante, sensorielle et intelligente que ce qu'elle remplace. La naturalité entre dans un nouvel âge. Celui de la performance.



INNOVATIVE GREENPHAGE TECHNOLOGY



URILYS® et l'arrivée
des bactériophages
dans le soin intime

QUAND LA COSMÉTIQUE ENTRE DANS LE CHAMP DE LA PRÉVENTION

Il existe des innovations qui améliorent un produit. Et d'autres qui déplacent une frontière. URILYS® appartient plutôt à la seconde catégorie.

Avec cet actif destiné au soin intime, Greentech introduit dans l'univers dermocosmétique une technologie biologique singulière : les bactériophages.

Présents naturellement dans l'environnement, les phages sont des virus qui infectent spécifiquement des bactéries. Cette capacité extrêmement ciblée intéresse depuis longtemps la recherche médicale. Greentech l'applique ici à la prévention de la colonisation périurétrale par certaines souches uropathogènes d'Escherichia coli, impliquées dans les cystites.

URILYS® repose sur un cocktail de dix bactériophages sélectionnés pour leur activité lytique et leur complémentarité. Le principe est très différent d'une action antibactérienne généraliste : le phage reconnaît sa bactérie cible, l'infecte, s'y multiplie puis provoque sa lyse. Il ne s'active donc qu'en présence de son hôte bactérien.

Cette précision permet parallèlement de préserver les espèces commensales testées. Les données fournies indiquent notamment l'absence d'effet sur Lactobacillus crispatus, Lactobacillus gasseri, Staphylococcus hominis et Staphylococcus epidermidis.

Sur 100 souches UPEC acquises en communauté testées, dont quinze productrices de carbapénémases, le cocktail s'est montré actif sur 83 % d'entre elles. Sur les seize souches sensibles retenues pour les essais d'efficacité, l'inhibition était maintenue jusqu'à 24 heures dans les conditions expérimentales présentées.

La portée de l'innovation dépasse pourtant les seuls chiffres. URILYS® fait apparaître un territoire dans lequel les frontières traditionnelles deviennent moins nettes : cosmétique, dermocosmétique, microbiote, biotechnologies et prévention commencent à se rencontrer.

Le soin n'intervient plus seulement après l'apparition d'un déséquilibre. Il cherche à empêcher que ce déséquilibre s'installe. Et cette idée pourrait bien devenir l'un des grands mouvements de la cosmétique à venir.



LIFE CONNECTS
EVERYTHING.
SO DO WE

COSMÉTIQUE
ENVIRONNEMENT
AGRICULTURE
AGRONOMIE
SANTÉ

La vie ne connaît pas nos catégories.

Elle ne sépare pas l'eau du sol, le sol de la plante, la plante des micro-organismes, l'environnement de la santé, la peau de l'organisme qui l'abrite. Nos industries, elles, se sont construites en spécialités. Agriculture. Environnement. Nutrition. Santé. Cosmétique. Des métiers distincts, des marchés différents, des expertises qui ont longtemps avancé chacune dans leur territoire.

Depuis plus de trente ans, Greentech travaille précisément à leurs frontières.

Nous observons les micro-organismes qui transforment les milieux. Nous travaillons avec les sols et les plantes. Nous utilisons les biotechnologies pour contribuer au traitement de l'eau. Nous explorons les microbiotes, les mécanismes de la peau, la nutrition et la santé. Et plus nous avançons dans chacun de ces domaines, plus une évidence apparaît : aucun ne peut être pleinement compris séparément des autres.

C'est peut-être là que se trouve la singularité de Greentech. Non pas dans l'addition de ses expertises, mais dans ce qui circule entre elles. Une connaissance acquise dans un domaine en éclaire un autre. Une fonction observée dans un micro-organisme ouvre une piste ailleurs. L'eau rejoint le sol. Le sol rejoint la plante. La plante rejoint l'organisme. Les microbiotes nous obligent à repenser les frontières entre nous-mêmes et notre environnement...

Nous avons commencé il y a trente ans en explorant la voie des GreenTechs; mais aujourd'hui, entre crises climatiques, environnementales et sanitaires, les équilibres qui rendent

la vie possible deviennent plus fragiles. Dans le même temps la convergence des sciences, l'intelligence artificielle nous permettent de voir plus loin.

Une nouvelle responsabilité apparaît : celle de l'innovation; bien sûr, celle-ci doit être porteuse de progrès, et c'est tout le discours latent de ce magazine, que nous avons conçu pour ouvrir la conversation autour de ce que nous appelons **The Age Of Lifetechs.**



SCIENCE GROWS WHEN KNOWLEDGE IS SHARED

Depuis 2016, la Fondation Greentech réunit régulièrement au SPIM (SKIN PHYSIOLOGY INTERNATIONAL MEETING) des scientifiques venus du monde entier pour partager leurs recherches, confronter leurs approches et faire dialoguer les disciplines autour d'un même territoire vivant : la peau.

**Physiologie. Biologie. Biochimie. Dermatologie.
Chercheurs reconnus. Nouvelles générations.**

Parce qu'une découverte prend une autre dimension lorsqu'elle rencontre d'autres découvertes. Parce que les grandes avancées naissent souvent aux frontières des disciplines. Parce que soutenir la recherche, c'est aussi créer les conditions de sa circulation.

**Le SPIM n'est pas seulement un congrès.
C'est un espace où la science se rencontre
pour avancer.**

SKIN
PHYSIOLOGY
INTERNATIONAL
MEETING

**FONDATION
GREENTECH**

www.skin-meeting.com

**La science avance plus vite quand le savoir est partagé*