

NOUVEAU

SCIENCE

magazine



RECHERCHE
LE BOULEVERSEMENT
QUANTIQUE

FIN DU PLASTIQUE

Les étonnantes
découvertes de
la bioéconomie



Des plantes
pour remplacer
les polymères
du pétrole ?



RÉVÉLATION
LE SPHINX EST
UNE FEMME

EXPÉRIENCE

LE CERVEAU ÉTRANGEMENT DÉPENDANT DES ODEURS

CPPAP



www.lafontpresse.fr

Lafont
presse

N°78 - Trimestriel - Mai/Juin/Juillet 2023 - BEL : 7,20 € LUX 7,40€ - CH 12CHF - ESP/PORT-CONT 7,90€ - DOM 7,90€ - MAR 7,90€ - N.CAL 930XPF - POL 970XPF - CAN 11,99\$CAD

Édité par Entreprendre (LAFONT PRESSE)
53 rue du Chemin Vert - CS 20056
92772 Boulogne-Billancourt Cedex
www.lafontpresse.fr - Tél. : 01 46 10 21 21

Directeur de la publication et de la rédaction
Robert Lafont
courriel : robert.lafont@lafontpresse.fr

Secrétaire générale des rédactions :
Isabelle Jouanneau - Tél. : 01 46 10 21 21
isabelle.jouanneau@lafontpresse.fr

Rédaction déléguée :
Sacha Lorens (sacha.lorens@free.fr), Laurence Miglioli
avec Jean-Louis Carrel, Peter Collins, Raphaël Picard,
Jean-François Rosselin, Robert de Roquesviere, Marie Castellans

• ADMINISTRATION
Directeur comptable : Didier Delignou
didier.delignou@lafontpresse.fr
Comptable : Alizée Dufraisse - Tél. : 01 46 10 21 03
alizée.dufraisse@lafontpresse.fr

• PUBLICITÉ & PARTENARIATS
Directeur : Eric Roquebert - Tél. : 01.46.10.21.06
eric.roquebert@lafontpresse.fr
Chef de pub : Francis Dominguez
Tél. : 06 98 99 89 32
francis.dominguez@lafontpresse.fr

• FABRICATION
Maquette : Delphine Balme
Imprimerie : Rotochampagne (52 - Chaumont)

Communication environnementale
Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 100%
Ce magazine est imprimé sur du papier porteur de l'Ecolabel Européen sous le numéro :
DE/011/010 - Eutrophisation : PTot 0.001 Kg/t.

• DIFFUSION PRESSE
Isabelle Jouanneau - Tél. : 01 46 10 21 21
isabelle.jouanneau@lafontpresse.fr

Distribution : MLP - Tondeur (Belgique)

• ABONNEMENTS
Hanane Rahmani
abonnement.rahmani@lafontpresse.fr

Crédits photos © AbodeStock
Science magazine est éditée par Entreprendre S.A au capital de 246 617,28€
RCS NANTERRE 403 216 617 SIRET : 403 216 617 000 23 NAF : 5814Z SA
53 rue du Chemin Vert 92100 Boulogne-Billancourt
Tél. : 01.46.10.21.21 - Fax : 01.46.10.21.22
Toute reproduction, même partielle, des articles et iconographies publiés dans Science magazine sans l'accord écrit de la société éditrice est interdite, conformément à la loi du 11 mars 1957 sur la propriété littéraire et artistique. La rédaction ne retourne pas les documents et n'est pas responsable de la perte ou de la détérioration des textes et photos qui lui ont été adressés pour appréciation.
N° de commission paritaire : 0926 T 87424 - N°ISSN : 1777-0173
Dépôt légal à parution.
Avertissement : L'éditeur se réserve la possibilité de republier certaines enquêtes ou reportages des titres Lafont presse.



LES MAGAZINES À DÉCOUVRIR

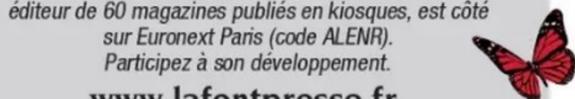


À lire sur lafontpresse.fr

Economie : Economie : Entreprendre, Le quotidien des entreprises, Création d'entreprise magazine, Manager & réussir, Placements, C'est votre argent !, Nouvel agriculteur. **People** : Journal de France, Intimité, Intimité Dimanche, Spécial Dernière, Secrets de stars, Paris confidences, Célébrité magazine, Le meilleur, Dossier enquêtes, Enquêtes magazine, Crimes magazine, Histoires vérité, Souvenirs Souvenirs, Numéro Spécial, Collection, Album, Johnny magazine, Johnny actualité, Reines & Rois, Royauté, Gotha magazine. **Auto** : L'essentiel de l'Auto, Auto magazine, Pratique Auto, Automobile verte, Collection Auto, Tracteurs magazine, Le magazine de l'aviation, L'essentiel du Drone. **Sport** : Le Foot, Le Foot Lyon magazine, Le Foot magazine, Rugby magazine, France Basket, Handball magazine, Tennis revue, Le quotidien du sport, Le quotidien du sport album, Le Sport, Cyclisme magazine, Auto sport magazine. **Féminin** : Féminin Psycho, Santé revue, Santé Info, Féminin Santé, Pratique Santé magazine, Dossier santé, Santé revue Seniors, Féminin senior santé, Au top après 50 ans, Santé guide, Dossier nutrition, Info Femme, Le magazine des femmes, Votre beauté. **Maison-Déco** : Maison Décoration, Maison déco jardin, Maison campagne & jardin, L'essentiel de la Déco, Spécial Déco, Spécial Demeures, Jardinier, Info Jardin, Potager pratique, Potager bio de saison. **Centres d'intérêts** : Spécial Chats, Spécial Chiens, Stop Arnaques, Pêche magazine, Chasse magazine, France Patrimoine, Spécial France, Spécial Seniors, Féminin Senior. **Cuisine** : Cuisine magazine. **Information-Culture** : Science magazine, L'essentiel de la Science, La revue de la Science, Science du monde, OVNIS magazine, Spécial Paranormal, Question de Philo, Les carnets de la philosophie, L'événement magazine, Géostratégie magazine, Globe, Biographie magazine, Grands Hommes, Spécial Histoire, Histoire française, Histoire de Versailles, Napoléon magazine, De Gaulle magazine, Le magazine des arts.

LE QUOTIDIEN DU SPORT lequotidiendeseniors.fr

INVESTIR EN BOURSE
Entreprendre (Lafont presse), groupe indépendant
éditeur de 60 magazines publiés en kiosques, est côté
sur Euronext Paris (code ALENR).
Participez à son développement.
www.lafontpresse.fr



FIN DU PLASTIQUE

P.40

L'ACTUALITÉ DE LA SCIENCE	6
LES ÉTONNANTES DÉCOUVERTES DE LA BIOÉCONOMIE	40
Des plantes pour remplacer les polymères issus du pétrole	44
De nouveaux matériaux à partir de coproduits alimentaires	46
Un « caoutchouc » naturel à base de tomate	47
S'inspirer du vivant : les plantes à traire !	48
Les enzymes gloutons : comment valoriser la biomasse récalcitrante	50
Développer les technologies blanches	52
LA COURSE À L'ORDINATEUR QUANTIQUE	56
Le calcul quantique : du bit au qubit	58
Quels sont les enjeux du plan quantique ?	59
Deux pistes : supraconductrice ou CMOS SILICIUM	60
A quand l'ordinateur quantique pour traiter l'information plus efficacement ?	62
SYMBOLES, OLFACTION, ÉMOTIONS	64
TROIS SOLUTIONS POUR LA PLANÈTE	70
RENCONTRE AVEC JOËL BERTHO, AUTEUR DE « LE SPHINX EST UNE FEMME »	74
LES LIVRES DE LA SCIENCE	80
LE FORUM DES LECTEURS	82



L'essentiel du drone
est disponible
en kiosque et sur
www.lafontpresse.fr

ABONNEZ-VOUS

Et renvoyez ce bon dument rempli à Lafont Presse
53 rue du Chemin Vert - CS 20056 - 92772 Boulogne-Billancourt Cedex

SCIENCE magazine

OUI, je m'abonne à Science magazine (papier + numérique)
et je reçois chez moi 10 numéros dont 2 n° gratuits au prix de 55€ au lieu de 69€

Nom : Prénom :

Adresse :

Code Postal : Ville :

Téléphone : Date de naissance :

Courriel : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Je règle par Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Lafont presse
53 rue du Chemin Vert - CS 20056 - 92772 Boulogne-Billancourt Cedex

par carte Bancaire visa

N° : | | | | | | | | | | | | | | | | |

expire fin | | | | | | | | | | | | | | | | |
cryptogramme (les trois derniers chiffres au dos de votre carte) | | |

signature :

Abonnez-vous sur www.lafontpresse.fr

Conformément à la loi « Informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Vous pouvez accéder aux informations vous concernant, les rectifier et vous opposer à la transmission éventuelle de vos coordonnées en cochant la case ci-contre ou en adressant un courrier libre à Lafont presse, 53, rue du Chemin vert, 92100 Boulogne Billancourt.

Tarif DOM TOM et étranger : + 2€ par revue servie

Lafont presse

La passion d'informer



Entreprendre (Lafont presse), groupe coté sur Euronext Paris.

L'éditeur français, imprimé en France

Lafont
presse TV

www.lafontpresse.fr





CHANGER LE MONDE...

Dans la nature, rien ne se perd, tout se transforme. Ce recyclage éternel inspire aujourd'hui les chercheurs, convaincus de la nécessité de protéger la planète. Car les ressources utilisées par l'Humanité depuis la Révolution industrielle ne sont pas infinies. Or, selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement*, au cours du XX^e siècle, l'extraction des minéraux de construction a été multipliée par 34, les minerais et métaux par 27, et les énergies fossiles par 12. Il va donc bien venir un moment où il faudra faire appel à autre chose. Ainsi, dans un contexte de réchauffement climatique qui requiert l'arrêt de l'utilisation des énergies fossiles, le carbone fossile a pour vocation d'être remplacé par du carbone d'origine renouvelable.

La solution consiste à utiliser la biomasse. Cette biomasse peut provenir de résidus de plantes après récolte, ou de bois après la coupe, ou encore de divers déchets. Généralement inexploitée ou brûlée, elle regorge en plus de ressources étonnantes que les scientifiques découvrent peu à peu. Aussi s'emploient-ils à développer des solutions pour l'utiliser au mieux et la recycler.

Béton de chanvre, isolant à base de lin, caoutchouc en peau de tomate... les inventions fourmillent sur le sujet.

Les composés chimiques présents dans certaines plantes ou micro-organismes, une fois extraits, permettent d'envisager de remplacer des antioxydants synthétiques, des fibres synthétiques, des plastiques, ou encore de fournir à l'industrie (pharmaceutique, cosmétique, chimique et autres) des molécules anti-inflammatoires, antifongiques, antimicrobiennes, etc.

Imiter la nature s'appelle le biomimétisme, et il s'avère que les plantes comme les animaux ont beaucoup à nous apprendre. On découvre ainsi que les molécules impliquées dans la défense des plantes ont des propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes, tandis que des chercheurs sont parvenus à nourrir une bactérie avec du méthanol pour produire du plastique biodégradable !

En valorisant toute la biomasse, il est possible de remplacer les composés d'origine pétrochimique. Aucun déchet n'est produit. De plus les circuits courts sont privilégiés pour limiter le transport. C'est le principe de la bioéconomie, une approche nouvelle d'une économie circulaire qui a pour ambition de changer le monde pour le rendre durable.

Sacha Lorens

*www.resourcepanel.org/reports/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth

Prévoir les troubles anxieux grâce à l'intelligence artificielle

À l'adolescence, l'angoisse est une caractéristique commune à tous les troubles anxieux. Ces troubles psychiatriques sont les plus répandus à cette période de la vie : environ un adolescent sur trois est concerné.

Quand parle-t-on de troubles anxieux ? La personne ressent dans ce cas une angoisse forte et durable sans lien avec un danger ou une menace réelle, qui perturbe son fonctionnement normal et ses activités quotidiennes. Ces troubles ont une fréquence élevée dans la population générale puisqu'environ 21% des adultes seraient concernés au moins une fois dans leur vie.

Il existe divers types de troubles anxieux : l'anxiété généralisée, le trouble panique, les phobies spécifiques, l'agoraphobie, le trouble d'anxiété sociale et le trouble d'anxiété de séparation. Ils débutent souvent dans l'enfance ou pendant l'adolescence. Certains d'entre eux - comme le trouble panique ou le trouble d'anxiété généralisée - ont tendance à apparaître un peu plus tard dans la vie, ou à se consolider au début de l'âge adulte. Par conséquent, un meilleur repérage dans ces tranches d'âge éviterait une aggravation des symptômes au cours de l'existence.

De précédentes études avaient mis en avant le pouvoir prédictif de l'intelligence artificielle dans le cadre de maladies psychiatriques comme la dépression ou encore les addictions. Mais aucune ne s'était jusqu'alors intéressée à la recherche de prédicteurs des troubles anxieux. C'est pourquoi une équipe dirigée par les chercheurs Inserm Jean-Luc Martinot et Éric Artiges, au sein du laboratoire Trajectoires développementales et psychiatrie (Inserm/ENS Paris-Saclay) et du Centre Borrelli (CNRS/Université Paris-Saclay), a tenté de détecter des signes avant-coureurs, à l'adolescence, de l'apparition de troubles anxieux à l'âge adulte. Ils ont pour cela suivi un groupe



de plus de 2 000 adolescents européens âgés de 14 ans au moment de leur inclusion dans la cohorte Imagen. Ces volontaires ont rempli des questionnaires en ligne renseignant sur leur état de santé psychologique à 14, 18 et 23 ans. Le suivi dans le temps a permis de mesurer l'évolution du diagnostic de l'anxiété.

Ensuite, une étude d'apprentissage statistique poussée, s'appuyant sur un algorithme d'intelligence artificielle, a permis de déterminer si certaines des réponses formulées à l'adolescence (14 ans) avaient une incidence sur le diagnostic individuel de troubles anxieux à l'âge adulte (18-23 ans). Trois grands prédicteurs ou signes avant-coureurs ont pu être mis en évidence, dont la présence à l'adolescence augmente significativement le risque statistique de troubles anxieux à l'âge adulte : il s'agit du neuroticisme, du désespoir, et de symptômes émotionnels.

Qu'est-ce que le neuroticisme ? Ce terme désigne une tendance persistante à ressentir

des émotions négatives (peur, tristesse, gêne, colère, culpabilité, dégoût), une mauvaise maîtrise des pulsions, et une inadaptation face aux stress. Quant au désespoir, il est associé à un faible score de réponses faites aux questionnaires évaluant l'optimisme et la confiance en soi. Enfin les symptômes émotionnels recouvrent les réponses aux questionnaires indiquant des symptômes tels que « des maux de tête/d'estomac », « beaucoup de soucis, souvent inquiet », « souvent malheureux, abattu ou larmoyant », « nerveux dans les nouvelles situations, perd facilement confiance », ou encore « a facilement peur ». Par ailleurs, une partie de l'étude s'est intéressée à l'observation du cerveau des volontaires à partir d'exams d'imagerie par résonance magnétique (IRM). Comme le développement du cerveau implique un changement de volume de différentes régions cérébrales à l'adolescence, les scientifiques ont voulu identifier dans ces images une modification éventuelle du volume de la matière grise qui

Webb perce les secrets de la vie dans l'Univers

© NASA, ESA, CSA, and M. Zamani (ESA)



Grâce au télescope spatial de la NASA James Webb, une équipe internationale d'astronomes a obtenu l'inventaire des glaces les plus éloignées et les plus froides jamais mesurées dans un nuage moléculaire. À côté de glaces simples comme de l'eau, des formes glacées d'un grand spectre de molécules ont été identifiées, allant du sulfure de carbonyle, de l'ammoniac et du méthane jusqu'au méthanol. Ces ingrédients glacés sont disponibles pour de futures générations d'étoiles et de planètes, avant d'être brûlés lors de la formation des jeunes étoiles.

On voit ici la région centrale du nuage moléculaire du Caméléon I, situé à 630 années-lumière de nous. La matière bleue froide au centre est éclairée par la luminosité de la protoétoile Ced 110 IRS 4 que l'on distingue en orange en haut à gauche. Derrière le nuage, la lumière de nombreuses étoiles apparaît comme des points orange. Elle peut être utilisée pour détecter des glaces dans le nuage, puisque celles-ci absorbent la lumière des étoiles qui les traversent.

Les molécules présentes sont nécessaires pour fabriquer les éléments constitutifs de la vie. Les planètes qui naissent là ressembleront-elles à la Terre ?

pourrait être prédictive de futurs troubles anxieux.

L'imagerie n'a malheureusement pas permis d'améliorer la performance de prédiction des troubles anxieux dans leur ensemble par rapport aux seules données issues des questionnaires. Mais elle pourrait cependant permettre de déterminer plus précisément un type de

trouble anxieux vers lequel une personne est susceptible d'évoluer. Comme l'explique Jean-Luc Martinot, directeur de recherche à l'Inserm et pédopsychiatre, « notre étude révèle, pour la première fois, qu'il est possible de prédire de façon individualisée, et ce dès l'adolescence, l'apparition de troubles anxieux futurs. Ces prédicteurs ou signes

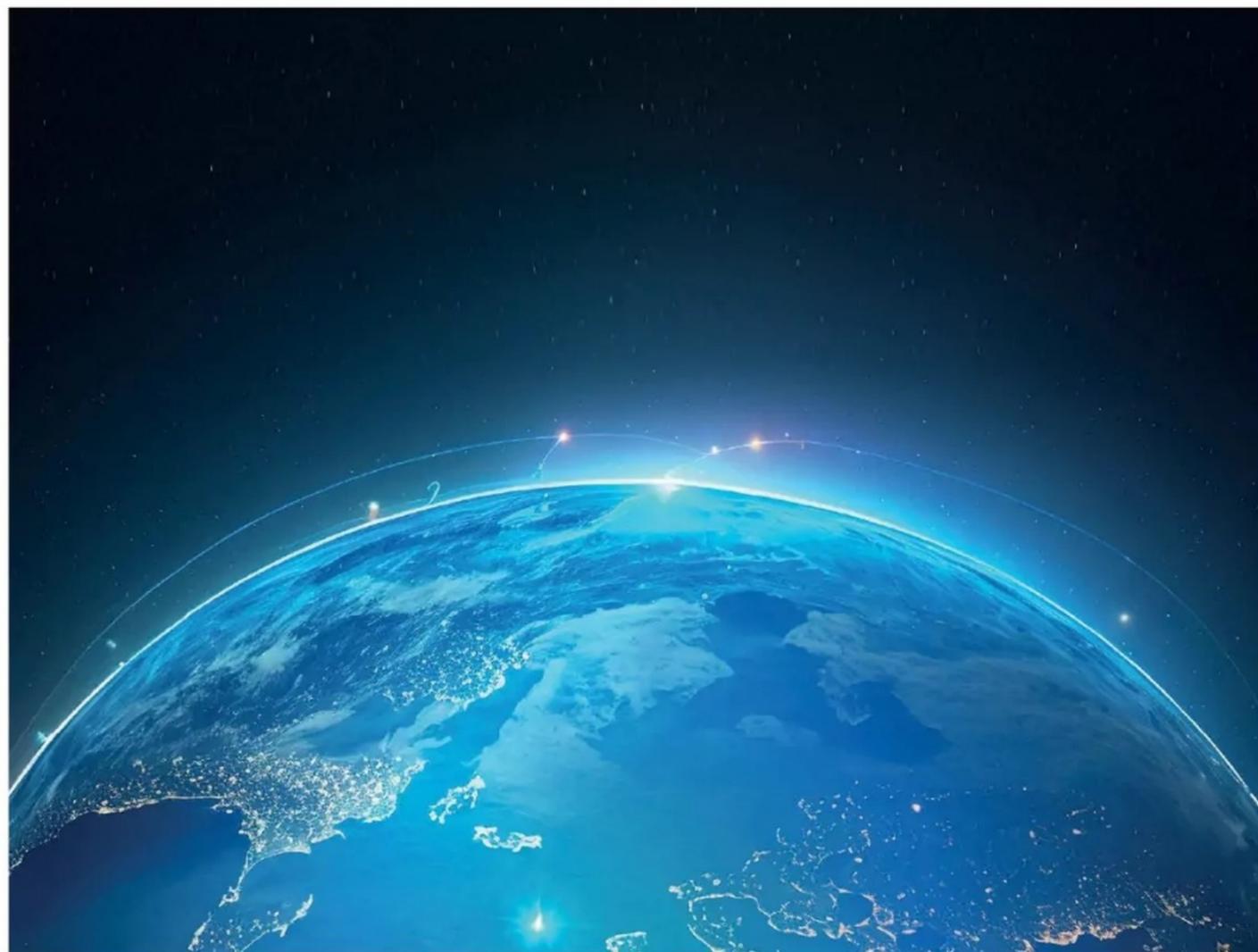
avant-coureurs identifiés pourraient permettre de détecter les personnes à risque plus tôt, et ainsi de leur proposer une intervention adaptée et personnalisée, tout en limitant la progression de ces pathologies et leurs conséquences sur la vie quotidienne ».

De Paris à Turin, le temps est transmis sur plus de 1000 km

Grâce à un lien par fibre optique de 1023 km entre les instituts de métrologie de Paris et Turin, la diffusion des signaux issus d'horloges atomiques s'effectue, sans dégradation de leur précision.

Des horloges atomiques extrêmement performantes sont détenues aux laboratoires de métrologie comme le LNE-SYRTE, à Paris, ou l'INRIM, à Turin. Elles sont utilisées pour maintenir les échelles de temps qui servent de référence aux niveaux français et mondial, comme le Temps Atomique International. Cette calibration précise du temps, et de son inverse, la fréquence, est indispensable pour des mesures de précision, tant pour la physique fondamentale que pour la physico-chimie de l'atmosphère et pour la synchronisation d'observations astrophysiques, ou encore en physique des hautes énergies. Pour pouvoir comparer les signaux délivrés par ces horloges, il faut qu'elles puissent communiquer entre elles. Mais la technique utilisant des réseaux de satellites est devenue trop imprécise par rapport à la stabilité en fréquence des meilleures horloges atomiques. Une autre option s'est alors développée, consistant à utiliser les réseaux de fibre optique.

Une collaboration franco-italienne - le Laboratoire de physique des lasers (LPL, CNRS/Université Sorbonne Paris Nord), Systèmes de Référence Temps-Espace (SYRTE, CNRS/Observatoire de Paris - PSL/Sorbonne Université), le Laboratoire national



de métrologie et d'essais (LNE) et l'Istituto nazionale di ricerca metrologica (INRIM) à Turin - vient de démontrer le fonctionnement quasiment sans interruption pendant 4 mois d'une liaison par fibre optique de 1023 km entre les instituts métrologiques italien et français. C'est la première fois qu'une liaison d'une telle longueur fonctionne 24 h/24 aussi longtemps, ce qui montre son potentiel à offrir un service scientifique en continu. La

partie française s'appuie sur l'infrastructure de recherche REFIMEVE qui permet de disséminer, sur plus de 6000 km de liens optiques sur tout le territoire national via le réseau de fibres optiques de RENATER, la stabilité et l'exactitude des références nationales temps-fréquence élaborées par le LNE-SYRTE. Comment cela fonctionne-t-il ? Le faisceau d'un laser asservi à l'horloge atomique de référence est injecté dans la fibre optique

sur l'un des canaux réservés du multiplex, les autres restant utilisés pour transmettre les données de télécommunications sans perturbation du signal. Tout au long du parcours, des stations relais permettent de répéter le signal afin de l'injecter d'un lien à un autre. Les bruits induits par les fluctuations thermiques et les vibrations acoustiques, lesquelles sont susceptibles de dégrader le signal transmis, sont compensés avec un système électronique.

La liaison franco-italienne a permis de comparer pendant 4 mois les horloges atomiques

au Cs, Rb et Yb des deux pays, soulignant le potentiel des liens optiques fibrés pour évaluer les bilans d'incertitude de ces horloges. La caractérisation de l'incertitude induite par l'utilisation du lien optique, inférieure à 6.10^{-19} , conforte l'idée qu'il pourra être utilisé dans le développement d'échelles de temps basées sur l'optique. En effet, la définition actuelle de la seconde, reposant sur une transition atomique du ^{133}Cs dans le domaine micro-onde, a une précision de l'ordre de 10^{-16} . En utilisant plutôt des transitions dans le domaine optique d'atomes ou d'ions, cette précision

pourrait alors atteindre 10^{-18} . Des applications multiples en découleraient, comme la mesure encore plus précise du champ gravitationnel terrestre ou des constantes fondamentales de la physique et le test des théories physiques au-delà du modèle standard.

De nombreuses autres applications des liens optiques, et en particulier de REFIMEVE, sont en cours d'exploration ; et ce notamment en photonique et en spectroscopie atomique et moléculaire de précision.

Comment protéger le microbiote de l'effet nocif des additifs alimentaires ?

Bien que leurs effets néfastes sur l'équilibre intestinal aient été démontrés, on retrouve des émulsifiants dans de nombreux plats transformés (crèmes glacées, gâteaux emballés, sauces...). Ces additifs alimentaires sont utilisés pour améliorer la texture et prolonger la durée de conservation des produits. Des chercheurs français aspirent à contrecarrer les effets délétères induits par la consommation d'émulsifiants en fortifiant l'épithélium intestinal via son repeuplement par une bactérie naturellement présente dans l'intestin : *Akkermansia muciniphila*.

Des millions de personnes consomment des agents émulsifiants de façon quotidienne. Ces produits figurent en effet parmi la liste des additifs alimentaires les plus largement utilisés par l'industrie agroalimentaire. Par exemple, des émulsifiants comme la lécithine et les polysorbates garantissent la texture onctueuse des crèmes glacées industrielles et ils évitent qu'elles ne fondent trop rapidement une fois servies.

De précédents travaux menés par l'équipe de Benoît Chassaing, chercheur Inserm à l'Institut Cochin (Inserm/CNRS/Université Paris Cité), en avaient montré les dangers.



Notamment que la consommation de certains agents émulsifiants entraînait l'altération du microbiote intestinal et son interaction avec l'appareil digestif. Rappelons que le microbiote est l'ensemble des micro-organismes - bactéries, virus, parasites et champignons non pathogènes, dits commensaux - qui vivent dans l'intestin. Ces altérations du microbiote conduisent à la fois à une inflammation

intestinale chronique et à des dérégulations métaboliques. Plus précisément, les recherches ont montré que la consommation d'émulsifiants alimentaires induisait la capacité de certains éléments du microbiote à rentrer en contact étroit avec l'épithélium - la première ligne de défense de l'appareil digestif - qui normalement est stérile.

Dans cette nouvelle étude menée par des

scientifiques de l'Inserm, du CNRS et d'Université Paris Cité à l'Institut Cochin à Paris, les chercheurs ont voulu contrecarrer les effets délétères induits par la consommation d'émulsifiants en fortifiant l'épithélium intestinal. Pour cela, ils se sont intéressés plus spécifiquement à la bactérie *Akkermansia muciniphila* qui, naturellement présente dans l'intestin, a déjà révélé avoir un impact sur les interactions du microbiote avec le reste de l'organisme. Par ailleurs, on sait que la quantité de cette bactérie se trouve diminuée suite à la consommation d'agents émulsifiants.

Des groupes de souris ont ainsi reçu des agents émulsifiants par le biais de leur alimentation, supplémentée ou non avec une dose

quotidienne de cette bactérie. Les chercheurs ont observé que, tandis que la consommation d'agents émulsifiants alimentaires était suffisante pour induire une inflammation chronique associée à des altérations du métabolisme et à une hyperglycémie, les souris recevant *Akkermansia muciniphila* étaient totalement protégées contre ces effets.

L'administration d'*Akkermansia muciniphila* a également été suffisante pour prévenir l'ensemble des altérations moléculaires normalement induites par la consommation d'agents émulsifiants, et notamment le rapprochement des bactéries de la paroi de l'épithélium.

« Ce travail conforte la notion que l'utilisation d'*Akkermansia muciniphila* en tant que

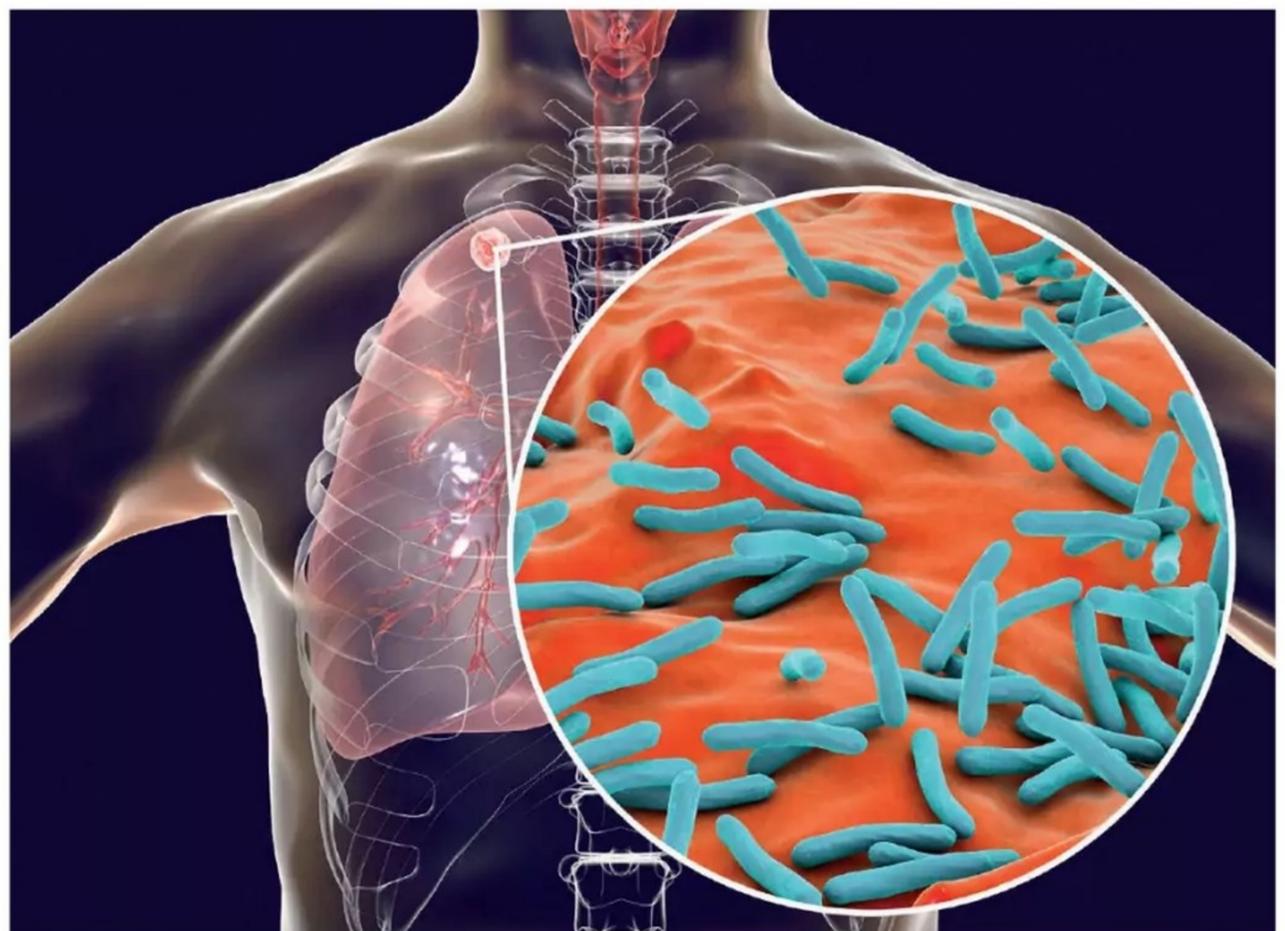
probiotique pourrait être une approche pour maintenir la santé métabolique et intestinale contre les stress modernes tels que les agents émulsifiants, qui promeuvent l'inflammation intestinale chronique, et les conséquences néfastes qui en résultent » explique Benoît Chassaing, dernier auteur de l'étude. « Cela suggère de plus que la colonisation intestinale par *Akkermansia muciniphila* pourrait prédire la propension individuelle à développer des désordres intestinaux et métaboliques suivant la consommation d'émulsifiants : plus la présence de la bactérie est importante, plus l'individu serait protégé des effets néfastes des additifs alimentaires sur le microbiote. »

Détecter la tuberculose dans l'air exhalé

Il suffirait d'analyser l'air exhalé par un patient pour détecter la présence de la bactérie responsable de la tuberculose... Cela permettrait un diagnostic beaucoup plus sensible, rapide et aisé de la maladie.

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), on compte 10 millions de nouveaux cas de tuberculose par an, dont 12% d'enfants. L'objectif est de réduire, d'ici à 2030, la mortalité et l'incidence de la tuberculose de respectivement 90% et 80% par rapport aux niveaux de 2015. Cependant, 1/3 de ces cas ne seraient pas diagnostiqués, notamment en raison de la faible efficacité des outils actuellement disponibles. Il s'agit donc de mettre au point des outils diagnostiques beaucoup plus efficaces.

Le diagnostic de la tuberculose repose aujourd'hui sur des examens clinique et radiographique, couplés à une analyse bactériologique des expectorations (crachats). La présence de *Mycobacterium tuberculosis*, bactérie responsable de la maladie, est recherchée par analyse microscopique, culture et/ou



amplification génique. Toutefois, l'analyse des crachats présente une faible sensibilité chez les enfants et les individus expectorant peu de bacilles, comme par exemple les patients coinfectés par le VIH.

Dans une nouvelle étude, des scientifiques ont exploré le potentiel diagnostique d'un fluide biologique relativement peu étudié : le condensat d'air exhalé. Ce fluide, qui correspond à la phase liquide de l'air expiré

échantillonnée par condensation à froid, a de nombreux atouts dans le contexte du diagnostic de la tuberculose, maladie infectieuse pulmonaire. Il est en effet constitué de l'aérosolisation du liquide recouvrant l'épithélium respiratoire : sa composition varie par conséquent en fonction de l'état pathologique du poumon. En plus, sa collecte est facile, non-invasive, et elle ne nécessite pas de personnel spécialisé. Ainsi, les chercheurs

ont pu détecter dans le condensat d'air exhalé, prélevé chez des patients tuberculeux, la présence de molécules (sucres, lipides et protéines) produites par *M. tuberculosis*.

Cela a permis de différencier sans aucune ambiguïté ces patients d'individus sains ou atteints d'autres infections respiratoires. Cette approche, transposable à court terme directement au lit du patient, permettra de

détecter des patients tuberculeux pour lesquels l'analyse bactériologique des expectorations s'avère négative.

Cette étude pilote se poursuit avec de plus larges cohortes internationales de patients. Elle ouvre une nouvelle voie de diagnostic pouvant améliorer la prise en charge des patients et réduire l'incidence de la tuberculose. (Source : INSB / IPBS)

Des centaines d'espèces éteintes voient leur génome reconstruit !

Des scientifiques ont développé un nouvel algorithme, appelé AGORA, pour explorer l'évolution des génomes. A partir de centaines de génomes modernes, AGORA a reconstruit automatiquement la structure partielle de celui de leurs ancêtres. Un moyen de comprendre l'évolution des génomes.

La biologie s'appuie sur l'histoire du vivant. Ainsi, les génomes d'espèces ancestrales sont des témoins du passé des organismes, au même titre que les fossiles, et ils sont essentiels pour retracer les changements ayant eu lieu au cours de l'évolution, que ce soit au niveau des mutations à petite échelle aussi bien qu'au niveau des génomes ou des espèces. Cependant, bien qu'il soit possible aujourd'hui de séquencer directement l'ADN d'organismes partiellement préservés dans des conditions particulières, comme par exemple le permafrost, seuls les organismes qui vivaient il y a moins d'un million d'années sont accessibles par cette approche. Or l'ancêtre des humains et des chimpanzés vivait, lui, il y a plus de 6 millions d'années.

Alors, pour remonter plus loin dans le temps, il faut recourir à des reconstructions par des approches informatiques, à partir de génomes modernes. Cette discipline est encore en



émergence, et les reconstructions sont peu nombreuses et difficiles à utiliser. Cela limite les possibilités de réaliser des analyses à grande échelle afin d'obtenir une vue précise et globale de l'évolution de l'architecture des chromosomes et des génomes au cours de l'évolution.

Un grand pas en avant vient d'être franchi grâce au nouvel algorithme appelé AGORA (pour *Algorithm for Gene Order Reconstruction*

in Ancestors). Cette méthode s'appuie avant tout sur les génomes d'espèces modernes : des centaines sont aujourd'hui disponibles dans les bases de données. Les chercheurs utilisent d'abord la séquence des gènes identifiés dans ces génomes afin de reconstruire des familles de gènes qui descendent d'un même gène ancestral apparu à un moment donné de l'évolution. Chaque famille peut compter des milliers de gènes, lesquels sont répartis dans

des centaines de génomes appartenant à des espèces couvrant des centaines de millions d'années d'évolution. Par exemple, un gène apparu chez l'ancêtre des vertébrés sera encore aujourd'hui représenté par des versions modernes chez les poissons, les oiseaux et les mammifères. Chaque version est légèrement différente des autres par sa séquence d'ADN à cause des mutations qui se sont produites au cours du temps, mais elles sont cependant reconnaissables par des logiciels de comparaison de séquences.

L'étape suivante consiste à reconstruire l'histoire évolutive de chaque famille grâce à des

logiciels s'appuyant sur un formalisme mathématique aujourd'hui bien maîtrisé. C'est alors qu'AGORA entre en jeu. Grâce à cette histoire évolutive et à la position des gènes modernes dans leurs génomes respectifs, l'ordre des gènes le long des chromosomes des espèces ancestrales est déduit à partir de celui des espèces modernes, chez lesquelles il est partiellement préservé. L'algorithme s'appuie sur une structure en forme de graphe qui est parcourue de manière très efficace afin de déterminer quel gène est voisin de quel autre gène dans le génome ancestral.

Publiés dans la revue *Nature Ecology and Evolution*, les résultats décrivent comment

AGORA a ainsi pu reconstruire la structure partielle de centaines de génomes ancestraux : une première. Les chercheurs s'en sont ensuite servis pour calculer la fréquence des réarrangements de chromosomes avec une précision inégalée.

Cette ressource permet aussi d'avoir rapidement accès aux régions des génomes modernes qui ont la même structure que celle d'ancêtres extrêmement anciens. Si ces régions restent inchangées, c'est la signature possible d'une grande importance biologique. Ces travaux établissent donc un cadre solide pour l'étude de l'évolution de la structure des génomes. (Source : INSB / IBENS)

Ils ont transformé des tentacules en pieds !

Une équipe de chercheurs helvétiques est parvenue à modifier la structure et la fonction des cellules de tentacules chez l'hydre. L'animal a maintenant plusieurs pieds...

Lorsqu'un organisme vivant se développe, que ce soit chez les humains, les animaux ou les végétaux, ses cellules souches se divisent et donnent progressivement naissance à de nouvelles cellules, capables d'accomplir une ou plusieurs fonctions particulières. Cette spécialisation cellulaire est appelée différenciation. Par exemple, les cellules composant la surface de la peau seront différentes, morphologiquement et physiologiquement, de celles qui constituent les tissus digestifs ou le système nerveux. Parfois, certaines cellules déjà différenciées peuvent encore changer de structure et de fonction, et donc d'identité, au cours de leur existence. On parle alors de transdifférenciation. Un processus relativement rare.

Les mécanismes de la différenciation sont connus, mais ceux qui permettent à la cellule spécialisée de maintenir son identité restent mystérieux. Afin de les étudier, les espèces qui régénèrent leurs organes, leurs



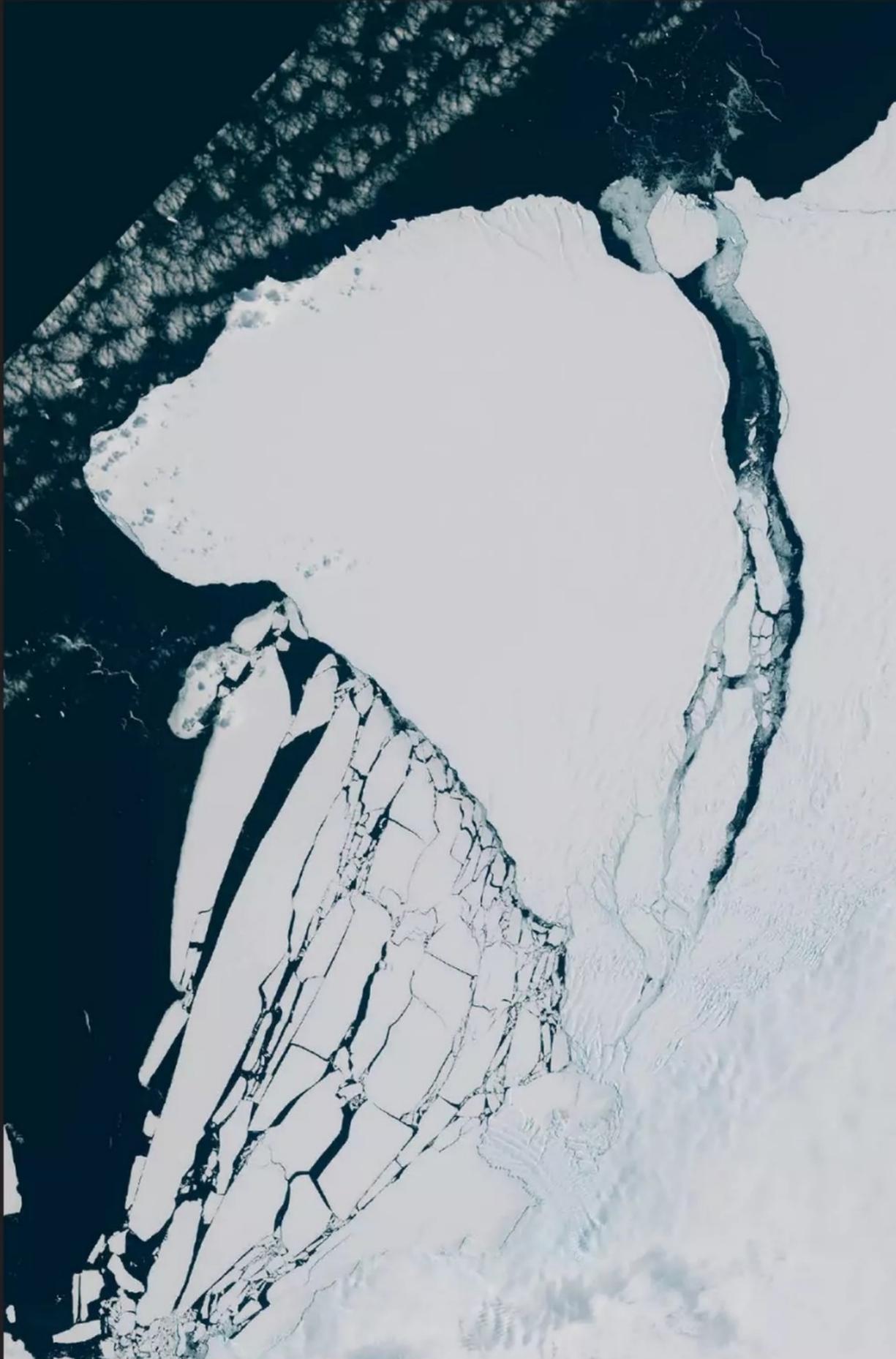
membres ou leur corps entier représentent des modèles privilégiés. En effet, au sein de ces organismes, certaines cellules perdent provisoirement leur identité avant de se renouveler et d'assurer une nouvelle fonction. C'est le cas de l'hydre d'eau douce, un petit invertébré mesurant en moyenne 1,5 cm : elle est capable

de régénérer n'importe quelle partie amputée tout au long de sa vie.

Chez cet animal, des chercheurs de l'Université de Genève (UNIGE), en collaboration avec l'Institut Friedrich Miescher pour la recherche biomédicale (FMI) de Bâle, ont

Naissance d'un iceberg géant !

© Contains modified Copernicus Sentinel data (2023), processed by ESA, CC BY-SA 3.0 IGO



Le satellite de l'ESA Sentinel-2 a capturé en janvier dernier cette image montrant un iceberg de 1550 km² se détachant de l'épaisse plateforme de glace Brunt, dans le secteur de la mer de Weddel, en Antarctique. Les glaciologues enregistraient depuis des années les nombreuses fissures et failles qui ont précédé ce phénomène naturel très surveillé. Cette séparation, ou vêlage, pourrait en effet influencer le comportement des glaces dans la région.

La surveillance par satellite offre des vues incomparables ce qui se passe dans les régions éloignées et montre comment les plateformes de glace répondent de manière active aux changements dans la dynamique des glaces, la température de l'air et la température de l'océan.

identifié un régulateur clé du maintien de l'identité cellulaire. Il s'agit du facteur de transcription *Zic4*, soit une protéine localisée dans les noyaux des cellules de l'hydre, et qui est chargée de réguler l'expression d'une série de gènes cibles. « Nous démontrons plus précisément que *Zic4* joue un rôle crucial pour la formation et le maintien des cellules qui composent les tentacules et qu'en réduisant son expression, il est possible de modifier l'organisation et la fonction de ces cellules », remarque Matthias Christian Vogg, maître-assistant au Département de génétique et évolution de la Faculté des sciences et à l'Institut de génétique et de génomique (iGE3) de l'UNIGE.

En réduisant de moitié le niveau d'expression de *Zic4*, les chercheurs ont découvert que les cellules épithéliales de la couche externe des tentacules se transformaient en cellules épithéliales du pied. « On appelle pied le disque basal de l'hydre ; les cellules qui le composent sont très spécialisées : elles sécrètent du mucus qui permet à l'animal de se fixer au milieu environnant », indique Brigitte

Galliot, professeure honoraire au Département de génétique et évolution de la Faculté des sciences et à l'iGE3 de l'UNIGE. « Après réduction de *Zic4*, il n'a fallu que quelques jours pour que le processus de transdifférenciation des cellules de tentacules s'opère et génère le développement de pieds à la place des tentacules. »

Les scientifiques ont aussi découvert que les cellules transdifférenciées retournent au préalable dans le cycle cellulaire, sans pour autant se diviser. Elles perdent dès lors leur première identité. « Ces cellules réactivent le processus de synthèse de l'ADN, et donc de duplication des chromosomes, à l'œuvre lors de la prolifération cellulaire, sans pour autant aller jusqu'à la division mitotique », souligne Charisios Tsiairis, chef de groupe junior au FMI.

Afin de réduire l'expression du gène *Zic4*, des molécules inhibant son expression ont été « électroportées » dans l'épiderme de l'animal. « Puis nous avons détecté par double marquage, à la fois un marqueur spécifique

des cellules de tentacules et un marqueur des cellules de pied dans les mêmes cellules, prouvant que ces cellules se transdifférencient puisqu'elles passent par un stade où elles sont encore un peu tentacule et déjà un peu pied. Cette phase transitoire est la signature du processus de transdifférenciation », explique Chrystelle Perruchoud, assistante de recherche au Département de génétique et évolution de la Faculté des sciences et à l'iGE3 de l'UNIGE.

Ces résultats donnent de nouvelles clés pour comprendre la transdifférenciation. Ils pourraient ouvrir la voie à de nouvelles thérapies visant à régénérer certains types de cellules déficients chez l'humain. Pour l'instant, de nombreuses questions subsistent. « *Zic4* joue-t-il le même rôle chez d'autres animaux ? Diminuer encore davantage son expression permettrait-il d'engendrer d'autres types de cellules ? Cela sans oublier qu'il existe probablement encore d'autres régulateurs importants de la transdifférenciation à découvrir », conclut B. Galliot.

Comment obtenir la plus grosse bulle de savon ?

Faire des bulles de savon fascine petits et grands. Mais il n'est pas donné à tout le monde d'en réussir des exceptionnelles ! Des chercheurs du Laboratoire de physique des solides (CNRS/Université Paris-Saclay), en collaboration avec des artistes, ont identifié les principaux ingrédients assurant d'obtenir les meilleures bulles.

Si les artistes ont besoin de bulles stables pour concevoir des numéros spectaculaires, les scientifiques en ont besoin eux aussi afin d'étudier la turbulence à deux dimensions ou les ondulations de surface, par exemple. Les bulles constituent également un élément de base pour l'étude des mousses.



Les chercheurs et les artistes ont donc étudié leurs recettes en analysant l'apport de chaque ingrédient à la stabilité des bulles. Menées en laboratoire, dans des conditions contrôlées, leurs expériences ont permis de quantifier la stabilité et la facilité de génération des bulles de différents mélanges.

Les résultats montrent que la recette parfaite doit contenir de l'eau à laquelle on ajoute 4% de liquide vaisselle, entre 0,05% et 0,1% de

polymère* et 10% de glycérol. Le polymère permet la création de bulles stables, tandis que le glycérol augmente la longévité des bulles sans les rendre plus difficiles à souffler.

Dans une autre étude, l'équipe a également identifié un autre mécanisme majeur à prendre en compte pour expliquer l'éclatement de ces bulles géantes : ainsi que tout objet qui s'évapore, les bulles de savon sont froides.

Les chercheurs ont mesuré cette température qui est jusqu'à 8 degrés plus basse que son environnement, ce qui représente un changement important. En diminuant l'évaporation, la concentration en glycérol de la recette diminue aussi le refroidissement de la bulle. De nouvelles recherches vont s'intéresser cette fois à l'évolution de l'épaisseur des films de savon géants au cours du temps et à leur temps de vie.

L'astéroïde Ryugu livre de nouvelles informations précieuses

Fin 2020, la mission japonaise Hayabusa a rapporté sur Terre des échantillons de l'astéroïde Ryugu. Ceux-ci n'en finissent pas de livrer leurs secrets...

C'est à l'ISAS, près de Tokyo, que sont conservés ces échantillons, préservés de toute contamination et de l'atmosphère terrestre. Au sein de ce laboratoire, un instrument français, MicrOmega, les analyse. Il s'agit d'un microscope hyperspectral, conçu à l'Institut d'astrophysique spatiale (CNRS/Univ. Paris-Saclay), qui fonctionne dans le proche infrarouge et permet de cartographier les minéraux et les molécules organiques à l'échelle de quelques dizaines de micromètres, à la surface des échantillons. C'est le seul instrument qui permette une telle caractérisation de l'ensemble des échantillons, avant toute sortie de leur environnement protégé.

Après avoir observé la surface de milliers de grains de Ryugu, MicrOmega a détecté des centaines d'inclusions de carbonates, des minéraux riches en carbone, de quelques dizaines à quelques centaines de microns en taille. Les plus grandes sont riches en Fe-Mg (breunnerite), tandis qu'une deuxième population d'inclusions plus petites est riche en



Ca-Mg (dolomite). Ces deux types d'inclusions disjointes montrent que les carbonates se sont formés selon deux processus distincts ou durant deux épisodes, et cela seulement

quelques millions d'années après le début de la formation du Système solaire. A cette époque, de la glace de CO₂ devait être présente dans le matériau qui compose aujourd'hui l'astéroïde,

* Un polymère est une substance composée de macromolécules, et issue de molécules de faible masse moléculaire. Par exemple, pour ces recherches, les scientifiques ont utilisé de la gomme de guar et du JLube, un lubrifiant vétérinaire à base de polyoxyéthylène.

et elle aurait pu fournir le carbone nécessaire à la formation des carbonates. Toutefois, des molécules organiques, riches en carbone, et toujours présentes dans les grains de Ryugu, ont également pu y participer.

Ryugu appartient à une classe d'astéroïdes très présents aujourd'hui dans la ceinture principale, mais qui incluent des matériaux formés bien plus loin, pendant la jeunesse du Système solaire. Les propriétés de

composition des carbonates et de leurs pré-curseurs, aussi retrouvées dans les chondrites de type CI, pourraient donc constituer une propriété générique du matériau formé au-delà de la ceinture principale.

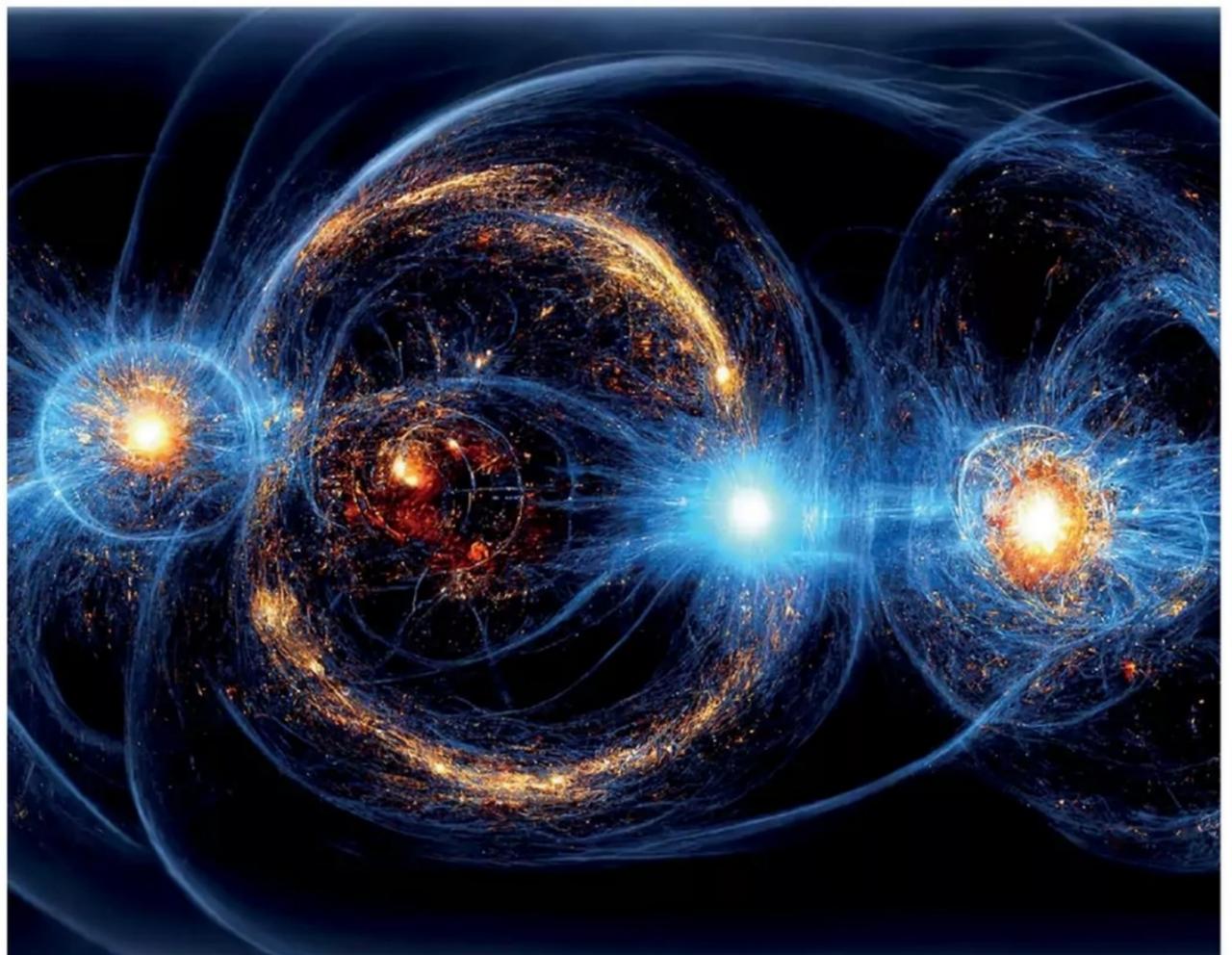
Le neutrino stérile n'existe pas

Pendant ses 6 années de mesure, la collaboration Stereo, composée de chercheurs français et allemands, n'a pas trouvé trace de neutrino stérile. Un tel résultat a des implications dans de nombreux domaines de la physique.

Les physiciens sont formels : s'il existe bien une anomalie dans les neutrinos émis par les réacteurs nucléaires, le neutrino stérile n'en est pas la cause. Formée de chercheurs du CEA, du CNRS, de l'Université Grenoble Alpes (UGA), de l'Université Savoie Mont Blanc (USMB), de l'Institut Laue-Langevin (ILL) et de l'Institut allemand MPIK Heidelberg, la collaboration Stereo a traqué pendant 6 ans cette particule, sans en trouver la trace, grâce à une expérience unique.

Cette expérience met ainsi fin à des années de questionnement. En effet, l'existence du neutrino stérile est une extension naturelle du modèle standard élaboré par les physiciens des particules depuis la deuxième moitié du XX^e siècle. Cette particule permettrait d'expliquer des phénomènes physiques encore incompris, comme la matière noire ; et les physiciens ont cru en déceler la trace dans plusieurs expériences auprès de réacteurs nucléaires sous la forme d'un déficit de neutrinos issus de la fission par rapport à la prédiction.

Il fallait donc le vérifier. Pour tester sans ambiguïté cette hypothèse des neutrinos stériles et déterminer leurs propriétés, les chercheurs se sont tournés vers une source de neutrinos très intense et contrôlée, le réacteur nucléaire



à haut flux de l'ILL, à Grenoble. À seulement 10 mètres du cœur du réacteur, ils ont placé une série de 6 détecteurs identiques, bénéficiant d'un savoir accumulé grâce à plusieurs générations d'expériences. Isolés de l'environnement extérieur, ces détecteurs étaient idéalement placés pour rechercher, avec une précision inédite, la signature des neutrinos stériles : au-delà d'un simple déficit en neutrinos standards, des changements dans leur distribution en énergie auraient dû apparaître. « Ce déficit des neutrinos de réacteurs renforçait d'autres anomalies observées au cours d'autres expériences », explique David

Lhuillier, physicien au CEA. « *Le neutrino stérile ouvrirait potentiellement la voie à une nouvelle physique et nous le pensions à portée de mesure : nous nous sommes totalement investis dans cette quête.* » Pendant 4 ans, de 2017 à 2020, suivis de 2 années d'étude des données, 107 558 neutrinos ont ainsi été observés... mais sans trace d'un neutrino stérile.

Mais comment expliquer le déficit, toujours présent, de neutrinos émis lors des désintégrations radioactives des produits de fission ? La précision des mesures de Stereo est telle que l'équipe pointe vers une autre direction :

ce sont, non pas les expériences détectant les neutrinos, mais les données nucléaires utilisées pour la prédiction des désintégrations qui seraient biaisées.

La distribution en énergie des neutrinos de la fission de l'uranium 235 fournie par Stereo devient ainsi une donnée de référence,

laquelle motive un vaste programme de réévaluation des émissions bêta des produits de fission décrits dans les bases de données nucléaires. Ainsi ce programme permettra de comprendre avec une précision accrue les phénomènes à l'oeuvre lors d'un arrêt de réacteur actuel ou futur. Les résultats de Stereo

posent aussi des bases solides pour les prochaines générations d'expériences auprès des réacteurs, pour une possible surveillance des réacteurs par la mesure des neutrinos émis, afin d'étudier la hiérarchie de masse de ces neutrinos ou encore tester encore plus loin le modèle standard à basse énergie.

Pourquoi un tel bond du méthane atmosphérique en 2020 ?

Puissant gaz à effet de serre, le méthane a vu sa concentration dans l'atmosphère multipliée par 3 durant l'Anthropocène. Or la réduction des gaz à effet de serre émis par l'activité humaine représente une priorité absolue pour maintenir le réchauffement climatique largement sous le seuil des 2°C supplémentaires.

La concentration de méthane dans l'atmosphère a augmenté en 2020 de 15,1 parties par milliard (ppb). C'est la hausse la plus importante depuis le début des mesures atmosphériques, dans les années 1980. Cette augmentation spectaculaire est expliquée dans une étude publiée dans *Nature*, dirigée par le professeur Shushi Peng de l'université de Pékin, en Chine. Avec une équipe de scientifiques français du CEA, de l'UVSQ et du CNRS travaillant au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) et des coauteurs américains et norvégiens, un travail a été réalisé à partir des inventaires pour évaluer les émissions de méthane provenant des combustibles fossiles et de l'agriculture, et avec des modèles d'écosystèmes afin de prédire les émissions liées aux zones humides et aux incendies. Ces résultats sont complétés par la modélisation inverse des émissions régionales faite à partir des mesures de concentrations atmosphériques.

Ainsi que l'explique Philippe Ciais, chercheur au CEA qui a codirigé l'étude au LSCE, « deux facteurs expliquent la forte



augmentation du méthane atmosphérique en 2020. Nous avons combiné différentes méthodes pour comprendre ce phénomène qui constitue une expérience en grandeur nature et apporte un nouvel éclairage sur le bilan mondial du méthane ».

Tout d'abord, la présence des radicaux hydroxyles (OH), principaux responsables de l'élimination du méthane dans l'atmosphère, a diminué en 2020 : davantage de méthane est par conséquent resté dans l'atmosphère. La diminution des OH s'explique principalement

par une baisse des émissions d'oxyde d'azote (NOx) induite par la réduction temporaire des émissions dans les régions polluées au cours des confinements de la pandémie de COVID-19. C'est donc l'une des principales raisons expliquant l'augmentation anormalement élevée de la concentration de méthane dans l'atmosphère et elle y contribue pour moitié environ.

En 2020, les scientifiques ont également trouvé une augmentation des émissions naturelles de méthane par les zones humides.

Cette dernière s'explique par les conditions plus humides et plus chaudes dans les hautes latitudes nord et dans les Tropiques de l'hémisphère Nord. Cet effet explique la seconde moitié de l'augmentation observée du méthane. « *Ce sont potentiellement deux mauvaises nouvelles pour le changement climatique...* », remarque Marielle Saunio, experte du cycle du méthane au LSCE.

Les efforts réalisés dans le cadre de l'Accord de Paris pour réduire l'utilisation de combustibles fossiles ainsi que l'adoption de

mesures de réduction de la pollution de l'air diminueront probablement les émissions de NOx à l'avenir. Vu ce qui a été observé en 2020, la réduction des NOx pourrait à son tour accélérer la hausse de la concentration de méthane. Il s'agit donc d'adopter des mesures d'atténuation encore plus contraignantes sur le méthane.

De plus, selon Ben Poulter, chercheur au Goddard Space Flight Center de la NASA, « *l'année 2020 indique que le changement climatique a déjà un impact sur les zones*

humides, où les changements dans les précipitations et les tendances au réchauffement augmentent les émissions de méthane qui pourraient encore amplifier le réchauffement climatique à l'avenir ».

L'étude montre en effet que les émissions des zones humides sont très sensibles à la variabilité du climat. Ainsi l'augmentation des émissions de méthane dans les régions contenant des zones humides tropicales et septentrionales, où les précipitations devraient augmenter à l'avenir, pourrait amplifier le réchauffement climatique.

10 000 ans d'évolution du système immunitaire humain

C'est ce qu'ont retracé des scientifiques de l'Institut Pasteur, d'Université Paris Cité, du CNRS et du Collège de France grâce à la paléogénomique. En analysant la variabilité des génomes de plus de 2 800 individus ayant vécu en Europe au cours des 10 derniers millénaires, ils ont pu dater la plupart des mutations avantageuses dans la lutte contre les pathogènes, à l'âge de bronze, soit il y a 4 500 ans. Des mutations qui ont alors rapidement augmenté en fréquence en Europe. Les chercheurs ont également constaté que des mutations entraînant un risque accru de développer des maladies inflammatoires ont augmenté en fréquence au cours des derniers 10 000 ans.

Le généticien J.B.S. Haldane, dans les années 1950, expliquait le maintien ou la persistance de la mutation responsable des anomalies des globules rouges communément observées en Afrique par la protection qu'elles offrent contre le paludisme, une infection endémique responsable de millions de morts. Cette hypothèse considère les agents pathogènes comme une des pressions sélectives les plus importantes auxquelles l'homme a été confronté. De nombreuses études de génétique des populations ont confirmé cette théorie par la suite. Mais des questions essentielles demeuraient



sans réponse : à quelles époques les pressions sélectives exercées par les agents pathogènes sur les populations humaines ont-elles été les plus fortes ? Et quelles ont été leurs conséquences sur le risque actuel de développer des maladies inflammatoires ou auto-immunes ? Pour répondre à ces questions, des scientifiques français, en collaboration avec l'Institut Imagine et l'Université Rockefeller (États Unis), ont utilisé une approche fondée sur la paléogénomique. Cette discipline, qui étudie l'ADN issu des restes fossiles, a permis d'importantes découvertes concernant l'histoire et l'évolution de l'homme et de ses maladies, comme le montre l'attribution du prix Nobel de physiologie ou médecine en 2022 au paléogénéticien Svante Pääbo. Dans l'étude pilotée par l'Institut Pasteur, les chercheurs ont analysé la variabilité des génomes de plus de 2 800 individus ayant vécu en Europe au cours des 10 derniers millénaires - une période couvrant le néolithique, l'âge du bronze, l'âge du fer, le Moyen Âge et le présent.

En reconstituant l'évolution dans le temps de centaines de milliers de mutations génétiques, l'équipe a en premier lieu identifié des mutations qui ont très rapidement augmenté en fréquence en Europe, signe qu'elles étaient avantageuses. Ces mutations évoluant sous une sélection naturelle « positive » sont principalement localisées dans 89 gènes impliqués dans la réponse immunitaire innée : notamment les gènes OAS, agissant sur les fonctions antivirales, et le gène responsable du système des groupes sanguins ABO. Étonnamment, la

plupart de ces événements de sélection positive, témoignant d'une adaptation génétique à l'environnement pathogénique, a débuté récemment, dès le début de l'âge de bronze, il y a environ 4 500 ans. Les chercheurs expliquent cette « accélération » de l'adaptation par la croissance de la population humaine à cette période, et/ou par de fortes pressions sélectives exercées par les pathogènes à l'âge du bronze, sans doute liées à la propagation de maladies infectieuses sévères telles que la peste.

Parallèlement, les scientifiques se sont intéressés à la situation inverse, c'est-à-dire aux mutations dont la fréquence a diminué de façon significative au cours des 10 derniers millénaires. Ces mutations sont probablement soumises à une sélection « négative » parce qu'elles augmentent le risque de maladies. Ils ont remarqué que ces événements de sélection ont principalement commencé, encore une fois, à partir de l'âge de bronze. Nombre de ces mutations désavantageuses ont été aussi localisées dans des gènes associés à la réponse immunitaire innée, comme *TYK2*, *LPB*, *TLR3* ou *IL23R*, dont des travaux expérimentaux ont confirmé l'effet délétère face aux maladies infectieuses. Ces résultats montrent l'intérêt d'adopter une approche fondée sur l'évolution dans la recherche sur la susceptibilité génétique aux maladies infectieuses.

Enfin, les chercheurs se sont intéressés à l'hypothèse selon laquelle la sélection exercée par les pathogènes dans le passé a favorisé des allèles de résistance aux maladies

infectieuses lesquels, en contrepartie, ont augmenté le risque actuel de maladies auto-immunes ou inflammatoires. Pour cela, ils se sont penchés sur les quelques milliers de mutations connues d'une part pour augmenter la susceptibilité à la tuberculose, aux hépatites, au SIDA ou à la COVID-19, et d'autre part à la polyarthrite rhumatoïde, au lupus érythémateux ou aux maladies inflammatoires de l'intestin. En regardant l'évolution de ces mutations au cours du temps, ils ont constaté que celles associées au risque accru de troubles inflammatoires – dont la maladie de Crohn – ont augmenté en fréquence au cours des 10 000 dernières années, alors que celles associées au risque de développer des maladies infectieuses ont diminué. « Ces résultats suggèrent que le risque de troubles inflammatoires a augmenté chez les Européens depuis le Néolithique, en raison d'une sélection positive de mutations permettant de mieux résister aux maladies infectieuses », explique Lluís Quintana-Murci, directeur de l'étude et responsable de l'unité Génétique évolutive humaine (Institut Pasteur/CNRS unité Génomique évolutive, modélisation et santé/Université Paris Cité).

Les résultats de l'étude montrent que la sélection naturelle a ciblé les gènes de l'immunité humaine au cours des 10 derniers millénaires en Europe, en particulier depuis le début de l'âge du bronze, et qu'elle a contribué aux disparités actuelles en termes de risque de maladies infectieuses et inflammatoires.

Les futures générations de batteries

La stratégie nationale d'accélération sur les batteries a pour objectif d'aider au développement de l'offre et la demande des batteries, notamment dans le but d'accélérer la transition énergétique dans le domaine des transports.

Cette stratégie nationale sur les batteries s'intéresse au développement des batteries

actuelles et futures, à l'approvisionnement et le développement de matériaux nécessaires à leur fabrication, et à la gestion de leur fin de vie par reconditionnement ou recyclage. L'électrification de l'automobile est la première application visée, mais le développement de batteries destinées à d'autres marchés comme l'aéronautique, le spatial, le stationnaire et l'Internet des objets est également concerné.

Aussi un effort de recherche significatif est consacré au développement des nouvelles générations de batteries. Financé dans le cadre de France 2030, le programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) « Soutenir l'innovation pour développer les futures générations de batteries » a été lancé en janvier 2023. Il est piloté par le CEA et le CNRS et a pour objectif d'accompagner la filière avec



des activités transférables à court-moyen terme aux acteurs économiques et préparer le long terme.

Les activités du PEPR sont articulées autour de 3 axes : les chimies innovantes (technologie tout solide, chimie post Li-ion), les systèmes de gestion de batteries innovants adaptés à ces nouvelles chimies, et le développement de nouveaux outils de caractérisation et de simulation afin de mener ces recherches. Doté d'un budget de 45,66 millions d'euros de France 2030 sur 7 ans, ce PEPR finance depuis début janvier 5 grands projets à fort enjeu, portés par des équipes de chercheurs reconnues dans le monde des batteries. Il financera aussi les lauréats d'un appel à projets lancé en novembre dernier et opéré par l'ANR, pour un montant total de 15 millions d'euros. Les prochains projets sélectionnés, qui compléteront les activités de recherche déjà engagées, doivent démarrer à l'été 2023. Parmi les 5 projets à fort enjeu, le projet LIMASSE ambitionne de développer des prototypes fiables de batteries « tout-solide », utilisant le lithium métal à l'électrode

négative, avec des densités d'énergie améliorées et une bonne rétention de capacité. Deux types d'électrodes positives seront ciblées, et les travaux s'attacheront à résoudre les problèmes d'interface cruciaux pour les batteries tout-solide.

Le projet HIPOHYBAT a lui pour objectif de développer deux technologies de batteries de forte densité de puissance. La première est basée sur la technologie sodium-ion et vise à la rendre plus durable, plus sûre, et à augmenter les densités d'énergie et de puissance. La seconde est celle des supercondensateurs. Le projet envisage de développer des batteries hybrides à densité d'énergie supérieure aux batteries au plomb, capables de se recharger en une minute avec une durée de vie supérieure à 50 000 cycles. Leur conception est basée sur la préparation de nouveaux matériaux d'électrodes positives et négatives et d'électrolytes innovants, tous reposant sur des éléments durables et des processus de synthèse écologiques.

De son côté, le projet SENSIGA veut répondre à un besoin crucial dans le domaine

du diagnostic des batteries afin d'améliorer leur qualité, leur fiabilité et leur durée de vie par une surveillance non invasive des performances et un contrôle de leur état de santé, de charge, d'énergie, de puissance et de sécurité. Il s'agit de développer des capteurs optiques ultra-sensibles pour suivre en conditions réelles de fonctionnement les paramètres physico-thermiques de la batterie ainsi que sa chimie, avec le rêve ultime de réaliser un « laboratoire-sur-fibre » pour révolutionner la surveillance des batteries.

Le quatrième projet, OPENSTORM, va développer des techniques expérimentales, du laboratoire aux grands instruments, utiles pour accélérer l'étude des futures générations de batteries (tout-solide, puissance et post lithium-ion). Il s'agira de transférer le savoir-faire et les méthodologies existantes, développées depuis 20 ans pour le Li-ion, mais aussi de mettre au point de nouvelles techniques et approches adaptées aux problématiques des nouvelles chimies développées dans le cadre de ce PEPR.

Enfin le projet BATMAN vise à introduire de l'intelligence artificielle dans le développement des batteries de nouvelle génération. Les travaux porteront plus précisément sur 3 objectifs pour lesquels les expériences seules ne peuvent apporter de réponses définitives : le criblage haut débit d'électrolytes optimisés pour les batteries de prochaine génération et de matériaux pour les dispositifs à haute puissance, la compréhension des réactions chimiques qui se produisent aux interfaces des batteries, et le développement de jumeaux numériques pour optimiser les processus de fabrication des batteries.

La "station" océanographique Polar POD face aux "cinquantièmes hurlants"

À la fois plate-forme océanographique et phare dérivant, Polar POD est unique en son genre. Pendant 2 tours du monde, sans retour à terre, il va affronter les "cinquantièmes hurlants" et les vagues les plus

hautes de la planète. Ce projet de recherche scientifique positionnera la France dans les nations leaders dans le domaine des sciences de l'océan.

« Polar POD est certainement ma plus imposante expédition sur laquelle je travaille depuis 2010 » souligne Jean-Louis Etienne. Plusieurs années ont été nécessaires, depuis la désignation de l'Ifremer comme responsable

Enigmes martiennes



© NASA/JPL-Caltech/University of Arizona

Dans les plaines du nord de Terra Arabia, sur la planète rouge, la sonde Mars Reconnaissance Orbiter de la NASA a photographié ici des cratères qui contiennent de curieux dépôts répartis en formes mystérieuses. Par exemple, les dépôts sont situés sur les côtés sud des cratères, et pas sur les côtés nord, et on n'en trouve que sur les cratères de plus de 600 mètres de diamètre. Les scientifiques supposent que ces formations proviennent de la sublimation d'un matériau riche en glace.

de la construction fin 2016, pour terminer les études d'avant-projet de conception et apporter la preuve de la faisabilité technique et opérationnelle. Il a fallu également développer un programme scientifique, sous la conduite du CNRS, pour bien définir le cahier des charges de l'instrumentation à intégrer et lancer l'appel d'offres pour le choix du chantier.

En août 2022, l'Ifremer notifiait la construction du Polar POD au groupement français Piriou/3C Metal : les chantiers navals Piriou pour la construction de la nacelle en Bretagne, et la société 3C Metal pour la construction du treillis, du tore et du caisson de fond et l'assemblage final au Cap, en Afrique du Sud.

« La maîtrise d'ouvrage de la construction de la plate-forme océanique dérivante habitée Polar POD a été confiée à l'Ifremer », explique François Houllier, Président-directeur général de l'Ifremer. « C'est évidemment une étape-clé de ce projet qui vise à améliorer la connaissance de l'océan Austral et de ses interactions avec l'atmosphère. Dans cette zone encore mal connue de la planète, cette plate-forme originale va permettre d'acquérir des informations scientifiques précieuses qui compléteront et enrichiront le panel des données spatiales et des données *in situ* traditionnelles. »

Le Polar POD fait partie de la nouvelle stratégie française pour l'Arctique et l'Antarctique et est labellisé comme action de la décennie des Nations Unies pour les sciences océanographiques au service du développement



durable. La coordination scientifique de cette station océanographique internationale est assurée par le CNRS, en partenariat avec le CNES et l'Ifremer. Le programme de recherches bénéficie de l'engagement de chercheurs de 43 institutions et universités de 12 pays, et les données et observations seront accessibles à l'ensemble de la communauté scientifique internationale.

Si loin, si immense, si difficile d'accès, l'océan Austral demeure méconnu. On a besoin de mesures *in situ* de longue durée. Entraîné par le courant circumpolaire antarctique, le Polar POD fera deux tours du monde, soit trois années de campagne ininterrompue avec quatre principaux objectifs. Tout d'abord la mesure en continu des échanges atmosphère/océan, notamment la capacité d'absorption du CO₂ de l'océan Austral, principal puits de carbone océanique de la planète. Ensuite l'inventaire de la biodiversité marine par acoustique, du krill aux baleines. D'autre

part la calibration des mesures effectuées par les satellites (conditions météo, états de mer, couleur de l'océan, mesure du phytoplancton pour un suivi spatial de l'activité biologique). Enfin le bilan de la pollution de cet océan si éloigné des activités industrielles et des zones de navigation (microplastiques, polluants organiques, métaux lourds et aérosols).

Rendre le Polar POD capable d'affronter ces deux tours du monde représente un défi technologique hors normes. Respectueuse de l'environnement, la plate-forme produira par des éoliennes l'énergie dont elle aura besoin, ce qui exigera une gestion très stricte du bilan énergétique.

Le chantier a démarré en septembre 2022 pour une durée de deux ans. Plusieurs essais en mer au large des côtes sud-africaines seront nécessaires avant le départ de l'expédition : celui-ci est prévu depuis Port Elizabeth, en Afrique du Sud, au dernier trimestre 2024.

Un chef d'œuvre de Rembrandt cache un composé inattendu

Une découverte effectuée par une équipe internationale de scientifiques apporte un nouvel éclairage sur les techniques du XVII^e siècle et sur la conservation des tableaux. Il s'agit d'une première dans l'histoire de l'étude scientifique des peintures.

Peinte en 1642, *La Ronde de nuit*, aujourd'hui exposée au Rijksmuseum d'Amsterdam (Pays-Bas), est l'un des plus importants chefs-d'œuvre de Rembrandt. Dans le cadre de l'opération 'Night Watch' de ce musée, le plus grand projet de recherche et de

conservation jamais entrepris pour un chef-d'œuvre de Rembrandt, des scientifiques de toute l'Europe et de différents horizons se sont associés pour étudier comment les matériaux de la peinture réagissent, chimiquement et dans le temps.

L'équipe comptait des scientifiques du Rijksmuseum d'Amsterdam, du CNRS, de l'ESRF, du Synchrotron Européen de Grenoble, de l'Université d'Amsterdam et de l'Université d'Anvers. Elle a combiné des méthodes d'imagerie à plusieurs échelles afin d'étudier chimiquement les matériaux utilisés par Rembrandt dans le tableau. Un instrument scanner portable à rayons X développé à l'Université d'Anvers (Belgique) a été utilisé, tandis que de minuscules fragments prélevés sur l'œuvre ont été étudiés à l'aide de micro-sondes à rayons X synchrotron, à l'ESRF, au Synchrotron européen (France) et à PETRA-III (Allemagne). Ces analyses ont révélé la présence d'un

composé organo-métallique rare et inattendu : les formiates de plomb.

C'est la première fois que ce composé a été découvert dans une peinture ancienne. « Dans les peintures, les formiates de plomb n'ont été détectés qu'une seule fois, en 2020, et dans des peintures modèles (peintures tests, peintures fraîches) » explique Victor Gonzalez, chercheur CNRS au laboratoire Photophysique et photochimie supramoléculaires et macromoléculaires (PPSM, CNRS/ENS Paris-Saclay). « Non seulement, nous avons découvert des formiates de plomb dans la Ronde de Nuit, mais nous les avons identifiés dans des

zones où ne figure pas de pigment au plomb, le blanc, le jaune. Ils disparaissent probablement rapidement, c'est pourquoi ils n'ont pas été détectés dans des peintures anciennes jusqu'à présent. »

Mais pourquoi le formiate de plomb trouvé dans l'huile des peintures de *La Ronde de nuit* n'a-t-il donc pas disparu ? Pour Katrien Keune, responsable des sciences au Rijksmuseum et professeur à l'université d'Amsterdam (Pays-Bas), cette découverte est primordiale pour mieux comprendre Rembrandt : « Dans l'opération 'Night Watch', nous nous concentrons sur la technique de peinture de l'artiste,



sur l'état de la peinture et sur la meilleure façon de la préserver pour les prochaines générations. Le formiate de plomb nous donne de nouveaux indices précieux sur l'utilisation possible de peinture à l'huile à base de plomb par Rembrandt et sur l'impact potentiel des vernis à l'huile utilisés au cours des traitements de conservation. »

D'où vient ce composé ? Peut-il fournir des informations sur les recettes de l'artiste, ou faire la lumière sur les mécanismes chimiques actifs dans les couches de peinture ancienne ? Afin de répondre à ces questions, les chercheurs ont étudié des fragments prélevés dans *La Ronde de nuit*, et des échantillons modèles

préparés en laboratoire simulant les formules du peintre.

Ils sont partis de l'hypothèse suivante : Rembrandt utilisait un médium organique (huile de lin) contenant de l'oxyde de plomb dissous (litharge PbO) aux propriétés siccatives. « Grâce aux performances analytiques uniques de l'ESRF, la source de lumière synchrotron la plus brillante au monde, nous avons pu cartographier la présence des formiates à une échelle micrométrique et suivre leur formation au cours du temps », détaille Marine Cotte, scientifique à l'ESRF. L'organisation spatiale des composés à l'échelle micro et la dynamique d'évolution

de ces composés ont permis aux chercheurs de proposer de nouvelles hypothèses sur les conditions chimiques de leur cristallisation in situ dans les anciennes couches de peinture.

« En plus d'apporter des informations sur les techniques picturales de Rembrandt, cette recherche ouvre de nouvelles pistes sur la réactivité des pigments historiques, et par conséquent sur la préservation du patrimoine », explique Koen Janssens, professeur à l'Université d'Anvers.

La prochaine étape sera d'étudier plus en détail l'origine de ces formiates de plomb et voir s'ils pourraient également provenir de traitements de restauration passés.

Les glaciers fondent plus vite que prévu...

La perte de masse des glaciers serait plus forte de 11 % à 44 % par rapport aux précédentes projections, notamment celles ayant alimenté le dernier rapport du GIEC.

Cette nouvelle étude, parue dans la revue *Science*, a été faite par une équipe internationale de chercheurs comprenant des scientifiques du CNRS et de l'Université Paul Sabatier Toulouse III. Elle note que la majorité des glaciers de notre planète sont des petits glaciers, inférieurs à 1 km, et ce sont eux les plus touchés par cette perte de masse. Ainsi, selon le scénario avec une limitation de la hausse des températures à 1,5°C, 49% des glaciers du monde, dont tous les petits, sont appelés à disparaître d'ici 2100, ce qui provoquera une hausse de 9 cm du niveau de la mer. Dans cette hypothèse, les plus gros glaciers sont aussi impactés, sans pour autant disparaître. Si la hausse des températures atteignait les 4°C, petits et gros seraient touchés et 83% des glaciers seraient amenés à disparaître, entraînant une élévation du niveau des mers de 15,4 cm.

Les scientifiques se sont appuyés, pour obtenir ces résultats, sur les observations d'une étude ayant quantifié les pertes de masse des



glaciers du monde, généralisées et accélérées entre 2000 et 2019. Ces précédentes informations ont permis de calibrer le modèle mathématique, qui a été conçu dans le cadre

de cette nouvelle publication, un par un pour les 215 000 glaciers présents sur Terre. De plus, le modèle prend désormais en compte des processus qui n'avaient jusqu'alors pas été

représentés, comme les pertes de masse liées au vèlage d'icebergs et l'effet d'une couverture de débris en surface du glacier.

La montée future du niveau des mers dépend

cependant surtout des plus grands glaciers, comme ceux d'Alaska, de l'Arctique canadien ou autour de l'Antarctique. L'étude conclut que leur perte de masse pourrait

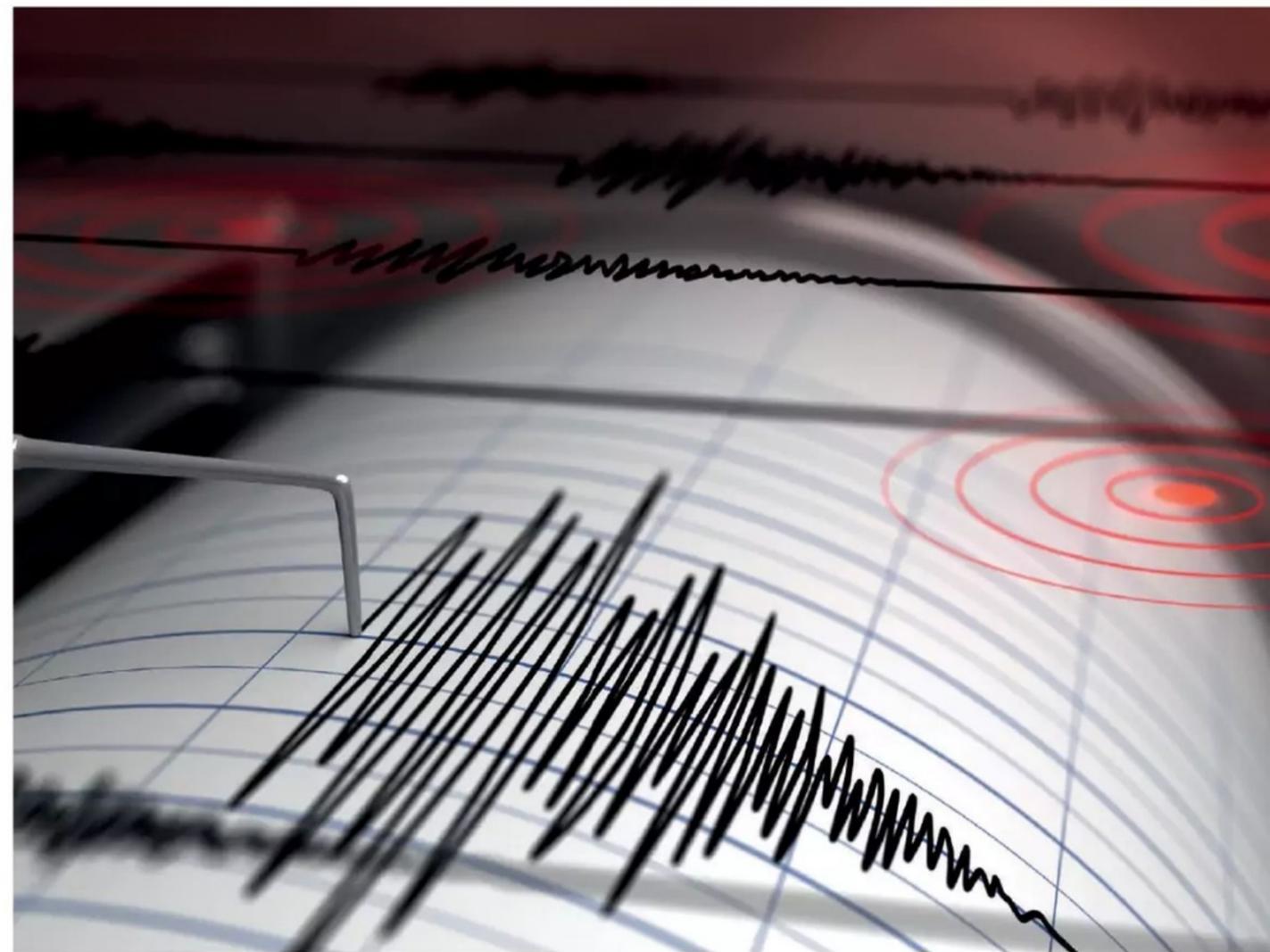
encore être limitée avec la mise en place de mesures pour contenir l'augmentation des températures.

Comment mieux gérer un séisme en ville

Parmi les séismes dévastateurs qui ont détruit des villes à travers le monde, celui de Lisbonne (au Portugal en 1755) a fait plus de 20 000 victimes, celui de Bam (en Iran en 2003) a détruit la plupart des bâtiments de la ville, ou plus récemment celui de Port-au-Prince (en Haïti en 2010) a laissé plus d'un million de personnes sans abri. Et que dire du séisme de février dernier qui a touché la Turquie et la Syrie, détruisant plusieurs villes et tuant des dizaines de milliers de personnes ? Comment réduire le risque face à ce phénomène naturel à la fois imprévisible et destructeur ?

Les scientifiques sont aujourd'hui capables de simuler à échelle fine l'occurrence d'une crise sismique en milieu urbain. Ils s'appuient pour cela sur des avancées technologiques et scientifiques et l'essor de l'intelligence artificielle. Ils peuvent par exemple recréer les actions et les interactions entre agents animés (individus ou services de secours) et agents non-animés (bâtiments ou débris). Car il est nécessaire d'inclure le comportement humain à ces simulations afin de mieux gérer la crise, adapter les politiques d'aménagement urbain et les plans de prévention de catastrophes.

D'un point de vue physique, les comportements des sols et des bâtiments face aux séismes sont intégrés en estimant les dommages bâtiment par bâtiment ainsi que les débris générés pour différents scénarios sismiques. D'un point de vue social, les réponses des individus aux séismes sont modélisées ainsi que les facteurs contextuels qui peuvent les influencer, tels l'âge et le genre de la personne. Ceci exige la collecte et l'analyse de données hétérogènes (données in situ, enquêtes sociales, images satellites) associant



les sciences de la terre, les sciences sociales et l'informatique.

Les chercheurs de l'INSU se sont intéressés à la ville de Beyrouth, capitale du Liban. Ce pays à sismicité modérée est au cœur d'un système de failles capables de générer des séismes de magnitude supérieure à 7, comme en témoignent les séismes de 551 et 1202. Beyrouth n'a pas connu de séisme majeur récemment, mais l'explosion soudaine et brutale du 4 août 2020 au port de Beyrouth a été perçue comme un séisme par une partie de la population. Les scientifiques ont mené une enquête sur les comportements adoptés face à l'explosion, laquelle a révélé la faible connaissance de la population des « lieux

refuges » en cas d'urgence et la forte propension à chercher et rejoindre des membres de la famille.

Ces comportements ont ensuite été intégrés dans des simulations d'évacuation de piétons lors d'une crise sismique à Beyrouth pour analyser la mise en sécurité des individus, définie comme le fait de se réfugier dans un espace ouvert. Ces simulations ont montré que l'élément primordial pour la sécurité des individus réside dans la forme urbaine et la distribution des espaces ouverts en termes de taille et de proximité des lieux fréquentés. Cependant, les débris et les comportements humains sont des facteurs aggravants à la mise en sécurité des populations.

Estimer le climat préhistorique à partir... des vers de terre

Les étés de l'époque glaciaire étaient plus chauds qu'on ne le pensait. Telle est la conclusion d'une nouvelle méthode de reconstitution des paramètres du climat sur le continent appliquée aux époques préhistoriques en Europe centrale.

Cette nouvelle méthode a été appliquée par une équipe de scientifiques franco-germanique, d'un projet de recherche international mené par l'université Johannes Gutenberg de Mayence (JGU). Les chercheurs ont déterminé les températures et les précipitations durant la dernière période glaciaire, qui a atteint son maximum il y a environ 25 000 ans, en analysant des granules de vers de terre. Cette nouvelle méthode a été mise au point à l'Université Paris Panthéon Sorbonne et améliorée à l'Institut Max Planck de chimie. « En coopération avec d'autres scientifiques, incluant des chercheurs de l'Université de Lausanne, du Musée central romain-germanique (RGZM), du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) et du Centre national de la Recherche scientifique (CNRS), nous avons utilisé cette méthode pour reconstituer le climat à Schwalbenberg, près de Remagen, et Nußloch, près de Heidelberg » explique le Dr. Peter Fischer, de l'Institut de Géographie de l'Université de Mayence.

Ces deux sites sont constitués de dépôts éoliens glaciaires très épais. Ces « loess » forment des séquences datant de 45 000 à 22 000 ans avant le présent, dans lesquelles des granules de vers de terre, n'excédant pas 2,5 millimètres de diamètre, peuvent être retrouvés : il s'agit de granules calcitiques, techniquement appelés "Earthworm Calcite Granules" (ECGs), qui sont secrétés quotidiennement par les vers de terre. En utilisant la méthode du radiocarbone, basée sur la désintégration naturelle de l'isotope radioactif naturel du carbone (C), leur âge peut être déterminé de manière précise. De plus, en



analysant les ratios des isotopes stables de l'oxygène et du carbone dans les ECGs, il est possible de reconstituer la température ou les précipitations au moment de leur formation.

Et les résultats sont les suivants : « l'analyse des données obtenues par les ECGs montre que, de 45 000 à 22 000 ans avant le présent, le climat était beaucoup plus sec que de nos jours, avec 70% d'humidité en moins » précise le Dr. Charlotte Prud'homme, de l'Université de Lausanne. « Pour la première fois, cela nous permet de quantifier les précédentes découvertes relatives à cette période ». La nouveauté de ces investigations sur les ECGs est que les températures estivales à cette

époque étaient significativement plus élevées qu'envisagé précédemment. « Bien que les étés durant le maximum de froid du dernier glaciaire étaient environ 4 à 11 degrés plus froids qu'aujourd'hui, ils n'étaient qu'un à 4 degrés en dessous des valeurs des courtes phases climatiques plus douces qui jalonnent le dernier glaciaire » indique le Dr. P. Fischer.

« Peut-être, étant donné ces températures estivales, était-il possible pour les humains de vivre de façon saisonnière en Europe centrale pendant le maximum de froid, à une époque où l'on supposait qu'ils n'auraient pas pu survivre ici » ajoute le Dr. Olaf Jöris, du Musée central romain-germanique.

Jusqu'à présent, les reconstitutions du climat des âges glaciaires ont été principalement fondées sur des analyses de microorganismes de dépôts de fonds marins profonds. Pour les continents, des données complètes manquaient, ce qui va donc pouvoir changer avec cette nouvelle méthode. En effet, des ECGs

sont présents dans beaucoup de séquences loessiques sur la terre ferme. Comme le souligne le Dr P. Fischer, il serait envisageable de construire une banque de données qui pourrait être utilisée pour quantifier précisément les changements climatiques continentaux et identifier les mécanismes de forçage et

de rétroaction. En incorporant des données climatiques continentales, cela contribuera à améliorer les modèles climatiques existants et ainsi fournir des informations précieuses pour l'évolution climatique future. (Source : INEE / Laboratoire de Géographie Physique : Environnements Quaternaires et Actuels)

Des microplastiques dans l'environnement pour des millénaires !

Dans les fleuves, les océans, la neige, ou encore l'air du Pic du Midi... des microplastiques ont été découvert partout ! C'est pourquoi une équipe de recherche française, impliquant des laboratoires du CNRS, a établi le premier modèle mathématique du cycle de vie des plastiques et microplastiques.

Estimer les quantités de plastiques présents dans l'océan profond, dans les sédiments marins, sur les plages et sur les surfaces continentales a demandé un important travail de synthèse. D'autres études récentes avaient chiffré les flux d'émission et de dépôts atmosphériques, les taux de sédimentation océaniques et la vitesse de dégradation des plastiques en microplastiques. L'ensemble de ces estimations a permis la conceptualisation du cycle de vie des plastiques pour l'année de référence 2015.

Une importante quantité de plastiques est rejetée sur les continents (5000 Tg) par rapport aux plastiques flottant à la surface des océans (0.3 Tg). Également la dispersion des plastiques via les rivières (13 Tg/an) est plus importante que la dispersion par émission terrestre (0.2 Tg/an). Le modèle mathématique du cycle de vie des plastiques établi a permis de simuler la progression de leur dispersion dans l'environnement, depuis 1950, vers l'air, les océans et les sols. La conclusion en est que, même si on réduit drastiquement la production des plastiques dans les décennies à venir,



les microplastiques risquent de circuler dans nos écosystèmes pendant des millénaires. En simulant des scénarios de remédiation, l'étude préconise une gestion plus durable des déchets anciens et nouveaux dans les milieux urbains, industriels et agricoles, pour limiter

la future dispersion des microplastiques. Ces résultats appuieront la prochaine évaluation mondiale sur la pollution plastique du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) ainsi que l'établissement d'un nouveau traité mondial. (Source : INSU)

Un champignon comestible contre la mucoviscidose

La mucoviscidose est la maladie génétique rare la plus fréquente. Une molécule issue d'un champignon comestible pourrait ouvrir des perspectives thérapeutiques pour les patients.

Cette maladie génétique touche environ 6 000 personnes en France. Elle affecte principalement les fonctions digestives et respiratoires, avec une espérance de vie comprise entre 40 et 50 ans. Ces dernières années, des innovations thérapeutiques ont cependant permis d'améliorer le pronostic des patients. Des traitements sont disponibles pour la grande majorité de ceux dont la maladie est causée par la mutation delta F508 au niveau du gène *CFTR*. Dans ce cas, la protéine CFTR (codée par le gène *CFTR*) est présente en petite quantité, mais dysfonctionnelle. Les molécules aujourd'hui disponibles permettent de corriger ce dysfonctionnement et d'améliorer significativement les symptômes cliniques.

Par contre, elles ne sont pas efficaces chez 10% des patients pour lesquels la protéine est complètement absente, comme c'est le

Qu'appelle-t-on les mutations non-sens ?

L'ADN est constitué de molécules organiques, les nucléotides. Ceux-ci codent les acides aminés impliqués dans la synthèse des protéines nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme. Concrètement, les mutations non-sens introduisent un « codon stop » au niveau du gène muté, c'est-à-dire une séquence de nucléotides qui mène à un arrêt prématuré de la synthèse de la protéine correspondante. La protéine n'est alors plus fabriquée, ce qui entraîne l'apparition des symptômes cliniques de la maladie.



cas lorsque la maladie est liée à une mutation non-sens (cf encadré). Identifier des moyens de corriger les mutations non-sens représente donc un enjeu important pour les chercheurs qui étudient les maladies génétiques et espèrent notamment développer de nouvelles options thérapeutiques contre la mucoviscidose.

Dans ce contexte, le chercheur de l'Inserm Fabrice Lejeune et son équipe, du laboratoire Cancer heterogeneity, plasticity and resistance to Therapies* (Inserm/CNRS/Université de Lille/Institut Pasteur de Lille/CHU Lille)**, étaient parvenus en 2017 à un résultat novateur : ils ont montré que des extraits d'un banal champignon comestible, connu sous le nom de *Lepista flaccida*, pouvaient réparer les mutations non-sens dans 3 lignées cellulaires isolées de patients atteints de mucoviscidose. Et en 2020, ils avaient publié une étude identifiant le principe actif dans le champignon capable de corriger les mutations non-sens associées au codon stop

UGA, le plus courant des 3 codons stop du code génétique humain : il s'agissait de la molécule DAP (2,6 diaminopurine).

Dans une nouvelle étude, les scientifiques ont testé les effets de cette molécule dans 4 modèles expérimentaux de mucoviscidose : des modèles animaux, des lignées cellulaires, des cellules de patients et des organoïdes. Cette diversité de modèles permet d'être au plus proche de ce qui se passe dans l'organisme des patients, afin d'évaluer au mieux les éventuels bénéfices thérapeutiques possibles.

Les résultats obtenus suggèrent que la DAP permet de corriger la mutation non-sens dans les différents modèles étudiés, en rétablissant la production des protéines et en restaurant efficacement la fonction du gène muté.

Sur le plan clinique, chez l'animal, cela se traduit par une amélioration des symptômes. Le traitement à la DAP permet de restaurer l'expression de CFTR dans les poumons et les intestins ainsi que la fonction de cette protéine, ce qui réduit significativement la

Charm el-Cheikh : surveiller les évolutions de la Terre à partir de l'espace

© contains modified Copernicus Sentinel data (2022), processed by ESA, CC BY-SA 3.0 IGO



Ville d'Egypte où s'est réunie la conférence sur le climat COP 27 en novembre 2022, Charm el-Cheikh est située au sud-est de la péninsule du Sinaï, le long de la mer Rouge, là où l'on trouve des eaux de mer parmi les plus chaudes et les plus salées au monde. Des récifs de coraux y hébergent une riche vie sous-marine. Sur cette image prise par le satellite Sentinel-2, de l'ESA, on voit tout en haut le golfe d'Aqaba.

En tant qu'observateurs officiels, des représentants de l'ESA ont participé à ce sommet pour le climat en montrant l'intérêt des observations faites à partir de l'espace. Ces données satellite permettent de mieux se rendre compte des évolutions de la Terre, de mieux comprendre les changements climatiques, de savoir quelles actions entreprendre et de les mesurer a posteriori. Par exemple l'ambitieuse initiative MARS (Methane Alert and Response System) visant à augmenter les efforts globaux pour détecter et agir sur les principales émissions de méthane, ou encore RECCAP-2 (REgional Carbon Cycle Assessment and Processes project), une initiative pionnière pour améliorer les estimations des flux de carbone entre l'atmosphère, la terre et l'océan.

mortalité prématurée observée avant l'administration de cette molécule.

L'équipe de recherche montre également que la DAP peut être donnée oralement et qu'elle se distribue efficacement dans tout l'organisme, pendant environ 2 heures. Ces caractéristiques sont un signal positif pour envisager la DAP comme une piste thérapeutique sérieuse, car on pourrait atteindre l'ensemble des tissus d'un organisme tout en limitant la durée d'exposition à la molécule,

et donc en réduisant de possibles effets secondaires. « *La DAP pourrait représenter la première molécule capable d'apporter un bénéfice thérapeutique aux patients atteints de mucoviscidose liée à une mutation non-sens, et plus largement aux patients atteints de maladie génétique liée à une mutation non-sens* », remarque Fabrice Lejeune.

Un éventuel essai clinique pourrait avoir lieu dans les années à venir pour tester l'efficacité de la molécule chez des patients. Mais

tout d'abord l'objectif est de développer la meilleure formulation possible pour le médicament et de réaliser des tests de toxicité afin s'assurer de son innocuité chez l'humain. À plus court terme, les chercheurs souhaitent également tester la DAP dans des modèles d'autres maladies génétiques rares, comme par exemple la myopathie de Duchenne et le syndrome de Rett, pour lequel plus de 60% des patients sont affectés par des mutations non-sens.

Mieux comprendre la transmission des virus Zika et de la dengue

Avec la globalisation des échanges et le changement climatique, les principaux moustiques vecteurs des virus de la dengue et d'autres maladies (Chikungunya et Zika) connaissent une expansion géographique.

Ce sont les moustiques *Aedes*, *Aedes aegypti* et *A. albopictus*, qui transmettent ces virus appelés arbovirus (pour « arthropod-borne viruses »). Contre le virus Zika, on ne dispose à l'heure actuelle ni de vaccin, ni de traitement antiviral. Quant à la dengue, c'est la maladie infectieuse virale transmise par les moustiques dont la fréquence augmente le plus rapidement dans le monde : elle cause 400 millions de nouvelles infections chaque année.

Comprendre les facteurs qui influent sur la transmission des arbovirus des moustiques aux humains représente donc une priorité. Elle pourrait guider la mise en œuvre de mesures de santé publique susceptibles de limiter, voire même de prévenir les épidémies.



En effectuant la surveillance virologique des moustiques *Aedes aegypti* par analyse métagénomique*, il est possible d'identifier

précocement des arbovirus circulants et contribuer ainsi à améliorer les mesures de santé publique. En plus des arbovirus, ces

* Laboratoire Hétérogénéité, plasticité et résistance aux thérapies des cancers, au sein de l'institut ONCOLille.

** Ont aussi participé à ces résultats les unités de recherche Molécules de communication et adaptation des microorganismes (CNRS / MNHN), Laboratoire de biométrie et biologie évolutive (CNRS / Université Claude Bernard Lyon 1 / VetAgro Sup), Plateformes lilloises en biologie et santé (CNRS / CHU Lille / Inserm/ Institut Pasteur Lille / Université Lille), Plateforme de chimie biologique intégrative de Strasbourg (CNRS / Université de Strasbourg).

méthodes de surveillance ont permis d'identifier, chez les moustiques *Aedes*, un grand nombre de virus spécifiques aux insectes. S'ils n'infectent pas les mammifères, ces virus sont susceptibles d'avoir un impact sur la dynamique de transmission des arbovirus à l'humain.

Dans une nouvelle étude, une équipe de chercheurs de l'Inserm, du CNRS et de l'Université de Strasbourg à l'Institut de Biologie Moléculaire et Cellulaire, en collaboration avec l'Université Fédérale du Minas Gerais au

Brésil, a entrepris la caractérisation du virome global des moustiques *Aedes* à l'échelle du monde entier. En utilisant une technique de séquençage à haut débit de l'ARN**, couplée à une analyse bio-informatique selon une méthode mise au point dans leur laboratoire, les scientifiques ont réalisé un état des lieux des virus présents chez les moustiques *Aedes* à travers la planète. Ils se sont appuyés sur un réseau de collaborateurs, la plupart appartenant au consortium européen ZIKAlliance***, pour collecter plus de 800 moustiques sur 12 sites différents dans 6 pays

sur 4 continents. Ils ont ainsi identifié 12 virus circulants, présents chez ces moustiques, dont 5 n'avaient pas encore été décrits.

Les scientifiques ont montré que sur les 12 virus identifiés, deux d'entre eux n'infectent pas les humains mais augmentent le potentiel de transmission des virus de la dengue et de Zika. Le mécanisme impliqué révèle l'existence d'un nouveau facteur cellulaire qui est détourné par les arbovirus dans les moustiques.

Les manchots pas tous pareils face au réchauffement de l'océan

Ce sont les pôles qui subissent les réchauffements les plus importants et les plus rapides sur Terre depuis les dernières décennies. Mais quelles sont les conséquences sur les écosystèmes océaniques ? Pour le savoir, les prédateurs marins supérieurs constituent des espèces « sentinelles ».

Chez les animaux, le succès de la reproduction est souvent corrélé avec le climat. Cependant les mécanismes sous-jacents restent méconnus, en particulier dans les environnements marins.

Des scientifiques ont étudié une population croissante de manchots royaux nichant aux îles Kerguelen, dans l'océan Indien Sud, qui abritent l'une des plus grandes colonies du monde. A cette fin, ils ont utilisé un ensemble unique de données sur l'activité de recherche de nourriture (approche biologging), sur le succès de la reproduction et sur le climat, et cela sur une période de 25 ans pour examiner les liens entre le climat et l'environnement marin. Puis les résultats ont été comparés à



* Méthode d'étude du contenu génétique d'échantillons issus d'environnements complexes prélevés dans la nature, ici par conséquent d'échantillons prélevés à des moustiques.

** Séquençage d'un très grand nombre de molécules différentes au sein d'un même échantillon.

*** Ce consortium de recherche multinational et multidisciplinaire est composé de 54 partenaires dans le monde entier et coordonné par l'Inserm.

ceux de la population voisine de Crozet, qui a vu le plus fort déclin pour cette espèce au cours des dernières décennies.

Sur Crozet, les manchots ont connu un succès de reproduction plus faible pendant les années chaudes, du fait de courants productifs qui se sont éloignés de la colonie, affectant le comportement de recherche de nourriture pendant l'élevage des poussins. À Kerguelen, tandis que la masse et la survie des poussins ont

connu des variations extrêmes d'une année à l'autre, la variation annuelle a été plus faible selon les années et elle n'était pas associée à la position des courants. Ceux-ci ont d'ailleurs fluctué très peu par rapport à la situation de Crozet. L'approvisionnement des poussins à Kerguelen pourrait être influencé par l'abondance des proies, laquelle semble augmenter dans des conditions plus chaudes, plutôt que par des changements dans leur distribution en mer. De plus, une température de l'air plus

élevée en hiver augmente le taux de survie des poussins, probablement à cause de la réduction des coûts de thermorégulation.

L'étude des mécanismes entre le climat et la condition physique a permis de prédire deux trajectoires différentes pour ces populations de manchots face au réchauffement global en cours, soit une augmentation pour Kerguelen, et une diminution pour Crozet. (Source : INEE / Centre d'études biologiques de Chizé)

La mort cellulaire due à la température

Au-delà d'une certaine température, toute cellule se détériore et meurt. Une équipe franco-italienne vient de montrer que cette fin serait provoquée par la modification structurale de seulement quelques protéines : leur déploiement perturbe toute la dynamique du milieu cellulaire.

Au cours de l'évolution, chaque type d'organisme vivant s'est adapté pour que ses cellules vivent et se développent autour d'une

température bien définie. Ainsi les cellules humaines prospèrent autour de 37 degrés, tandis que celles de certains autres organismes peuvent supporter des températures bien plus basses ou plus élevées. Mais au-delà d'une certaine température, la mort cellulaire est inéluctable.

Cependant le rôle néfaste de la température sur une cellule n'est pas complètement compris. C'est pourtant une question cruciale,

tout d'abord pour comprendre comment la vie a évolué sur la planète et comment elle peut s'étendre ailleurs. Ensuite, parce que même de petites évolutions de température provoquées par des dérèglements climatiques pourraient déséquilibrer la répartition actuelle des organismes vivants. Enfin, pour optimiser les approches thérapeutiques qui utilisent une augmentation locale et très contrôlée de la température afin de tuer des cellules, par exemple cancéreuses.

Il était globalement admis que les protéines, macromolécules très abondantes et essentielles au fonctionnement cellulaire, se déplient au-delà d'une certaine température (changent de conformation) et cessent de remplir leur rôle. Mais toutes les protéines subissent-elles ce changement structural ou seules quelques-unes d'entre elles qui jouent un rôle clé ?

Des scientifiques du Laboratoire de biochimie théorique (LBT, CNRS/Université de Paris Cité), du Laboratoire interdisciplinaire de physique (Liphy, CNRS/Université Grenoble Alpes) et de l'Université de Pérouse viennent de montrer dans une étude que seule une petite quantité de protéines se déplie réellement et cesse d'être opérationnelle aux températures avoisinant la mort cellulaire. Leurs expériences de spectroscopie par diffusion de neutrons, combinées à des simulations multi-échelle de dynamique moléculaire,



démontrent également que, lorsque ces quelques protéines se déplient, elles altèrent les propriétés dynamiques du milieu cellulaire dont la viscosité locale augmente considérablement. La raison moléculaire de cela est

simple : quand une protéine se déplie, elle devient un spaghetti souple et long qui interagit avec les macromolécules voisines, formant une sorte de gel. Mais cette augmentation de la viscosité suffit-elle pour bloquer certaines

réactions métaboliques vitales contrôlées par la diffusivité locale et précipiter la mort cellulaire ? L'équipe poursuit ses investigations pour le découvrir... (Source : INC)

Cartographeur internationalement le temps de sommeil

Cela a été rendu possible par un jeu vidéo ! Des scientifiques du Laboratoire d'Informatique en Images et Systèmes d'Information (LIRIS - CNRS/INSA de Lyon/Université Claude Bernard Lyon 1) et de 5 universités anglaises ont utilisé la base de données des joueurs de Sea Hero Quest, conçu pour le diagnostic précoce de la maladie d'Alzheimer, afin d'explorer les habitudes de sommeil de la population la plus vaste et la plus variée possible. Ces travaux offrent des résultats inédits.

Il existait déjà de nombreuses études reposant sur des bases de données incluant l'âge, le sexe ou encore la nationalité de patients. Elles permettent notamment de mieux mesurer et comparer des phénomènes, tout en ayant la trace d'un maximum de paramètres pouvant les influencer. Les chercheurs ont donc intérêt à établir et employer les bases de données les plus complètes possibles, quitte à y parvenir par des moyens originaux.

Le jeu mobile Sea Hero Quest est gratuit, mais les utilisateurs peuvent transmettre différentes informations en toute transparence. « *De nombreux paramètres ayant un impact connu sur la navigation spatiale sont inclus dans notre base de données* », explique Antoine Coutrot, chargé de recherche CNRS au LIRIS. « *Les médecins peuvent ainsi comparer les performances d'orientation dans l'espace de leurs patients avec celles de personnes du même âge, du même genre, de la même nationalité... Cela a d'abord été pensé pour le diagnostic précoce de la maladie d'Alzheimer.* »



Le chercheur a commencé à travailler également sur des questions liées au sommeil et, face à l'ampleur des résultats, il s'est associé à des scientifiques des universités britanniques d'East Anglia, de Leeds, de Bournemouth, de Lancaster et de l'University College de Londres. Ensemble, ils ont demandé aux joueurs combien d'heures ils dormaient en moyenne par nuit. 730 000 joueurs, répartis entre 63 pays, ont répondu, ce qui est bien supérieur aux plus grandes bases de données disponibles sur le sommeil ! Certains résultats étaient déjà connus, mais ils ont pu être

confirmés à plus grande échelle, et surtout dans de nombreux pays souvent oubliés des études scientifiques. Par exemple, il s'avère que les femmes dorment en moyenne 7 minutes et demie de plus que les hommes ; ou encore que les habitants d'Extrême-Orient, notamment les Japonais, dorment en moyenne moins que le reste de la planète.

En 3 ans, ce sont plus de 4 millions de joueurs qui ont enrichi la base de données. La quantité et la qualité d'informations recueillies ont permis de lever le voile sur d'autres sujets.

Des surprises ont été révélées, comme le fait que le temps moyen de sommeil évolue partout pareil avec l'âge, et cela selon 3 grandes phases. La durée moyenne du sommeil décroît fortement de 19 à 33 ans, puis elle continue de diminuer, mais plus lentement, de 34 à 53 ans. De 54 à 70 ans, ce temps remonte. « *Nous montrons que c'est une tendance presque universelle* », affirme A. Coutrot. « *Il y a évidemment des aspects sociaux, mais aussi hormonaux.* »

La répartition géographique de la durée du sommeil a été aussi étudiée : elle montre que, plus l'on s'éloigne de l'équateur, plus on dort

en moyenne longtemps. Cela est vrai même en prenant en compte les différences de niveau de vie. Enfin, la durée moyenne de sommeil influe assez peu sur l'orientation dans l'espace, sauf pour les personnes les plus âgées chez lesquelles celles qui dorment 7 heures sont notablement meilleures.

La richesse de la base de données Sea Hero Quest pousse l'équipe de recherche à s'ouvrir à de nombreuses disciplines, des neurosciences à l'intelligence artificielle, en passant par les sciences sociales. Les scientifiques ont entrepris de comparer l'autoévaluation des capacités d'orientation des joueurs et

leurs performances réelles, afin de vérifier l'influence des différences culturelles sur la perception de leurs aptitudes. D'autres travaux concernent l'impact de différentes réformes éducatives et de l'âge jusqu'auquel l'instruction est obligatoire.

« *Nous sommes ouverts aux collaborations* », conclut A. Coutrot. « *Nous avons mis en place un serveur pour que d'autres équipes de recherche puissent télécharger notre application et la base de données. Ces travaux s'articulent entre une étude démographique à très grande échelle et une étude des relations entre le sommeil et les performances de navigation spatiale.* » (Source : INS2I)

Découverte d'une étoile binaire rare

Sa rareté vient de sa pauvreté en fer : c'est le signe de son grand âge. Elle s'est donc formée peu de temps après le Big Bang.

La découverte a été faite avec le VLT de l'ESO, l'observatoire austral européen au Chili. La concentration de fer de l'étoile SMSS 1605-1443 est de l'ordre de 1/1000000 la concentration du fer dans le Soleil. L'astre a été formé de gaz très peu pollué par les éléments produits par les étoiles massives puis dispersés par les explosions des supernovas. L'étoile a aussi une très forte concentration de C/Fe, un type de composition chimique habituel parmi les étoiles de faible teneur en fer.

Grâce à la précision exceptionnelle du spectrographe ESPRESSO, alimenté par un des télescopes de 8 mètres de diamètre VLT, une équipe internationale, parmi laquelle deux chercheurs du CNRS-INSU, a réussi à éclaircir deux faits fondamentaux sur la nature de l'étoile. Les scientifiques ont d'abord mesuré des variations de vitesse radiale, notamment une variation de 300 m/s sur environ 116 jours. Cette lente variation implique que l'étoile fait partie d'un système binaire à longue période. Ce résultat confirme les récentes indications théoriques qui indiquent



que les étoiles à basse métallicité se forment en systèmes multiples. Par ailleurs, des questions se posent du fait de la présence d'un compagnon. Ce compagnon est-il évolué et a-t-il produit le carbone que l'on observe ? Ou ce système a-t-il été, au contraire, formé dans un gaz très enrichi en carbone ?

L'équipe a déterminé une limite inférieure au

rapport isotopique du carbone : $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} > 60$. Cette limite exclut que le carbone ait été formé dans une étoile évoluée. Le milieu de formation de ce système était par conséquent enrichi en carbone par un type particulier d'étoiles appelées supernovae faibles, lesquelles ont la propriété de produire du carbone mais seulement de petites quantités de fer.

Merveilles cosmiques

© ESA/Hubble, NASA & STScI, C. Britt, T. Huard, A. Pagan



Capturée par le télescope spatial Hubble, cette image nous montre en son centre le « petit » nuage de gaz et de poussière dénommé CB 130-3, dans la constellation du Serpent. Cet objet possède un cœur dense, et le gaz et la poussière sont agglomérés autour de manière compacte. Comme l'indique l'Agence spatiale européenne, ce cœur intéresse particulièrement les astronomes. Lorsqu'il s'effondre, suffisamment de masse peut s'accumuler en un seul endroit pour atteindre des températures et des densités nécessaires à la fusion de l'hydrogène. Ainsi naissent les étoiles.

Un programme de recherche pour plonger au cœur des génomes marins

France 2030 est un vaste plan d'investissement pour faire face aux défis de notre temps. Dans ce cadre, l'État consacre 3 milliards d'euros pour la recherche à travers des « Programmes et équipements prioritaires de recherche », dits PEPR dirigés ou exploratoires.

Atlasea fait partie des lauréats des PEPR exploratoires : co-piloté par le CNRS et le CEA, il vise à séquencer le génome de 4 500 espèces marines de la zone économique exclusive française. Il permettra notamment de comprendre, de protéger et d'étudier l'ensemble des formes du vivant dans toute leur diversité.

La France dispose du deuxième plus grand domaine maritime au monde après les États-Unis, ainsi que d'une recherche à la pointe en biodiversité marine et d'un tissu économique

fort autour de l'exploitation du biotope marin. Aussi, en complémentarité avec les nombreuses initiatives internationales pour séquencer la biodiversité, elle vient de donner un coup d'accélérateur à sa recherche dédiée à la biodiversité marine.

Séquencer un génome permet de retracer l'évolution des processus biologiques, mais également de connaître l'information génétique d'un individu, d'examiner le fonctionnement de ses cellules et la répartition de ses gènes. Accéder à cette information pour un grand nombre d'espèces devient primordial pour l'avenir de la biologie. 12 000 espèces ont été recensées à ce jour dans la zone économique exclusive de la France métropolitaine ; l'ambition d'*Atlasea* est de séquencer le génome de plusieurs milliers d'entre elles sur le littoral métropolitain et quelques centaines

dans les territoires d'outre-mer en ciblant en particulier les espèces ayant un intérêt scientifique ou économique, notamment pour la découverte de nouveaux antibactériens biosourcés ou de procédés de dégradation du plastique par des organismes marins.

Ce programme se déclinera en 3 étapes. Tout d'abord le prélèvement d'échantillons sur le littoral et lors d'expéditions au large et en profondeur (notamment dans des canyons méditerranéens où la vie a su se développer en l'absence de lumière) ; ensuite le séquençage de ces échantillons au Genoscope, le Centre national de séquençage, l'objectif étant d'aboutir à des génomes de référence, c'est-à-dire complets ; enfin l'annotation informatique de cet ADN pour y repérer les gènes, retracer leur histoire évolutive et leur assigner des fonctions. Les génomes seront par la suite stockés dans des bases de données ouvertes et accessibles à la communauté internationale.

En parallèle, afin d'exploiter les données générées dans le cadre du projet, deux appels à projets seront lancés auprès des acteurs scientifiques. Le premier portera sur la mécanique moléculaire, l'enjeu étant de caractériser les voies métaboliques qui mènent à des molécules d'intérêt pour la médecine, la cosmétique, l'agriculture, etc., et qui sont naturellement produites par le biotope marin. Le second cherchera à expliquer les mécanismes d'invasion d'espèces dans un écosystème donné à partir des génomes de référence : ces invasions entraînent-elles des hybridations d'espèces proches, peut-on expliquer le succès d'une espèce par de la sélection naturelle, etc.

Le programme comportera aussi un important volet formation afin de maintenir le savoir-faire français en termes de séquençage : écoles d'été, workshops, encadrements de doctorants, etc. Enfin, des partenariats



publics-privés sur l'exploitation des données génomiques seront financés, l'idée étant d'irriguer le processus de recherche et développement en biotechnologies marines grâce

à la connaissance génomique, en sensibilisant les entreprises françaises qui travaillent déjà avec les produits de la mer.

Pour mener à bien ces actions, le CEA et le

CNRS, co-pilotes du PEPR, seront entourés de 5 partenaires académiques : l'Ifremer, le MNHN, Aix-Marseille Université, Paris Sciences Lettres et Sorbonne Université.

Du chocolat zéro déchets

Transformer les cabosses du cacao en sucres d'intérêt industriel, telle est l'idée ingénieuse d'un consortium de recherche franco-ghanéen. Une manière de rendre la filière du cacao plus durable et plus rentable.

Dans les cabosses, le fruit qui contient les fèves de cacao, les chercheurs tentent donc d'extraire des molécules d'intérêt industriel. « Actuellement, une fois les fèves récupérées, les cabosses vides sont considérées comme des déchets et s'accumulent dans les cacaoyères. Ces déchets agissent comme des incubateurs pour la bactérie de la pourriture brune, une maladie du cacao qui réduit de façon importante sa production » remarque Prince Amaniampong, chercheur CNRS à l'Institut de chimie des milieux and matériaux de Poitiers (IC2MP). « Pour éviter cet amoncellement de déchets, l'exploitation de cette matière organique en ressource durable est une solution. Nous avons donc mis en place un consortium de recherche entre la France et le Ghana. » Le consortium implique l'IC2MP, l'Université du Ghana à Accra, et l'Université des sciences et de la technologie Kwame Nkrumah au Ghana.

Ces sucres d'intérêt pourraient servir pour la synthèse de tensioactifs pour l'industrie cosmétique, d'agents sucrants pour les chocolatiers, ou encore de biostimulants pour l'agriculture. Déjà les analyses ont montré que les cabosses de cacao sont riches en composés rares, comme l'acide galacturonique, qui pourraient trouver différents débouchés industriels. Ainsi les chercheurs espèrent donner de la valeur ajoutée aux 10 millions de tonnes de cabosses générées annuellement au Ghana.



C'est en France que commence le processus d'extraction des sucres. Les cabosses sont introduites dans un broyeur au sein duquel elles subissent un premier traitement en milieu acide destiné à casser les liaisons entre les sucres. « Ce traitement est basé sur une technologie brevetée par le CNRS. On se place dans des conditions douces afin d'éviter la dégradation des sucres », note François Jérôme, directeur de recherche à l'IC2MP et lauréat de la médaille de l'innovation en 2021.

Les scientifiques obtiennent ainsi un mélange de lignine, de polyphénols et de sucres dissous en milieu aqueux. Ces sucres et les polyphénols peuvent déjà être valorisés, tandis que la lignine est renvoyée au Ghana où elle

subit un processus de pyrolyse. Ce chauffage en absence d'oxygène permet d'obtenir une biohuile riche en composés phénoliques, qui pourrait intéresser l'industrie. Ces composés pourraient notamment servir à booster la croissance des plants de cacao.

Les recherches sont encore à un stade préliminaire car les chercheurs tentent de rendre le processus moins énergivore et d'obtenir des réactions plus sélectives pour obtenir les composés à plus haute valeur ajoutée. L'objectif final est de construire une unité pilote au Ghana capable de réaliser l'ensemble du traitement des cabosses de cacao.

LE MEILLEUR DE LA PRESSE :



NOUVELLE FORMULE SAADÉ • MICHALAK • FRANCE GALOP • BONUX • ALAIN WEILL • RENAULT • TOGO G'VINE

Entreprendre

www.entreprendre.fr

SEB Interview d'un PDG de choc

KRETINSKY UN APPÉTIT SANS LIMITES

DÉFI ILS RACHÈTENT LE BHV À 30 ANS

LE PC FRANÇAIS À L'ASSAUT DE L'INDE

10 ANS DE SUCCÈS POUR METAVISIO - THOMSON. LA STRATÉGIE GAGNANTE DE STEPHAN FRANÇAIS.

Macron : un accord avec la droite • Atea : l'avion-hélicoptère • Augustinus Bader : c'est la crème • Zefir...

Lafont presse

ECONOMIE

- Entreprendre 12 n° 65€
- Manager et réussir 10 n° 52€
- Création d'entreprise mag. 10 n° 39€
- C'est votre argent ! 10 n° 54€

PASSION

- Spécial Chats 10 n° 62€
- Spécial chiens 10 n° 62€
- Pêche magazine 10 n° 47€
- Chasse magazine 10 n° 55€
- France Patrimoine 8 n° 140€

AUTO

- L'essentiel de l'auto 10 n° 44€
- Auto magazine 10 n° 23€
- Automobile Verte 10 n° 78€
- Le magazine de l'aviation 10 n° 116€
- L'essentiel du Drone 10 n° 79€

CUISINE

- Cuisine magazine 10 n° 40€

CULTURE/INFORMATION

- Science Magazine 10 n° 54€
- L'Essentiel de la science 10 n° 71€
- OVNI magazine 10 n° 71€
- Question de Philo 10 n° 71€
- L'Évènement magazine 10 n° 46€
- Spécial Histoire 10 n° 78€
- De Gaulle magazine 10 n° 200€
- Magazine des Arts 10 n° 140€

FEMININ SANTE PSYCHO

- Santé Revue 10 n° 44€
- Santé Info 10 n° 52€
- Féminin Senior 10 n° 47€
- Féminin Psycho 10 n° 47€

- Santé revue seniors 10 n° 55€
- Féminin Santé 10 n° 46€
- Spécial Femme 10 n° 22€
- Le magazine des femmes 10 n° 23€
- Votre Beauté 10 n° 103€

PEOPLE

- Journal de France 14 n° 44€
- Intimité 10 n° 32€
- Paris Confidences 10 n° 24€
- Souvenirs souvenirs 10 n° 39€
- Reines & Rois 10 n° 54€
- Royauté 10 n° 54€

SPORT

- Le Foot (mensuel) 14 n° 46€
- Le Foot Lyon (magazine) 10 n° 56€
- Le Foot magazine 10 n° 44€
- Rugby magazine 10 n° 55€
- France Basket 10 n° 47€
- Handball magazine 10 n° 77€
- Tennis revue 10 n° 116€
- Cyclisme magazine 10 n° 46€
- Le Sport (spécial) 10 n° 55€
- Auto sport magazine 10 n° 102€

MAISON & DECO-JARDIN

- Maison Décoration 10 n° 55€
- Maison campagne & jardin 10 n° 68€
- L'Essentiel de la Déco 10 n° 78€
- Spécial Déco 10 n° 76€
- Jardiner 10 n° 38€
- Potager pratique 10 n° 55€

VIE PRATIQUE

- Stop Arnaques 10 n° 32€

Chez votre marchand de journaux

Les étonnantes découve



rttes de la bioéconomie



Grand émetteur de gaz à effet de serre, le carbone fossile a pour vocation à ne plus être utilisé à terme, pour les pays qui respecteront l'Accord de Paris. Il sera remplacé par du carbone d'origine renouvelable. C'est l'un des objectifs de la bioéconomie, une économie basée sur la production, la mobilisation, la transformation et le recyclage de la biomasse. Plus globalement, elle vise à l'emploi des ressources du vivant au lieu des ressources fossiles, afin de respecter l'environnement et assurer la pérennité du système économique.

Mais de quoi se compose la biomasse ? D'une variété d'éléments : végétaux et résidus provenant de l'agriculture, bois et résidus de la sylviculture, algues, micro-organismes, coproduits de l'industrie, déchets ménagers... Ces produits doivent par conséquent être de plus en plus utilisés, mais sans qu'il en découle des inconvénients. Ainsi la mobilisation de la biomasse ne doit pas rentrer en compétition avec l'utilisation des terres destinées à couvrir les besoins alimentaires. Elle ne doit pas porter atteinte à la biodiversité des écosystèmes ou à la préservation des ressources (sol et eau notamment). Elle ne doit pas venir en concurrence avec le rôle des écosystèmes (notamment des forêts et des sols) comme puits de carbone. Et enfin elle doit s'inscrire dans la transition agroécologique.

C'est pourquoi INRAE (l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) en a fait une de ses priorités stratégiques...

De formidables ressources !

Par chance, les ressources pour la biomasse sont particulièrement importantes puisque, avec plus de 16,9 millions d'hectares, la France est le 4^e pays européen en surfaces boisées (notre meilleur atout pour emprisonner les GES).

Les chercheurs d'INRAE évaluent le potentiel de cette formidable ressource à l'aune des 3S : séquestration du carbone dans la biomasse, stockage du CO₂ dans les produits résultant de l'industrie du bois, substitution des matériaux pétrosourcés pour la chimie, l'énergie ou la construction.

Ce travail est délicat, d'autant que le changement climatique va transformer nos forêts. Les scientifiques développent donc des outils de modélisation et mènent des études prenant en compte ces incertitudes, étudient de nouvelles manières d'exploiter cette ressource. Par exemple, les coproduits sont trop souvent brûlés alors qu'ils regorgent de molécules utiles pour la pharmacie, la cosmétique, la médecine, la chimie ou l'agro-industrie. En plus des arbres, tous les résidus de l'agriculture, c'est-à-dire les parties aériennes des végétaux non



La bio-économie, au plus près des sites de production. Ici, une usine de biogaz.

récoltées et laissées au sol (tiges, chaumes, feuilles, gousses...), pourraient être valorisés pour remplacer de nombreux produits d'origine pétrosourcée : béton de chanvre, isolants à base de lin ou de tournesol, caoutchouc en

peau de tomate, plastique antimicrobien, crème antioxydante...

Si leur conception a été validée, leur fabrication à l'échelle industrielle requiert de lourds investissements. Or, pour que la substitution soit rentable, ces nouveaux produits doivent offrir des services comparables à un coût similaire. Ce qui complique cette transition vers la bioéconomie, même si les initiatives se multiplient dans ce sens.

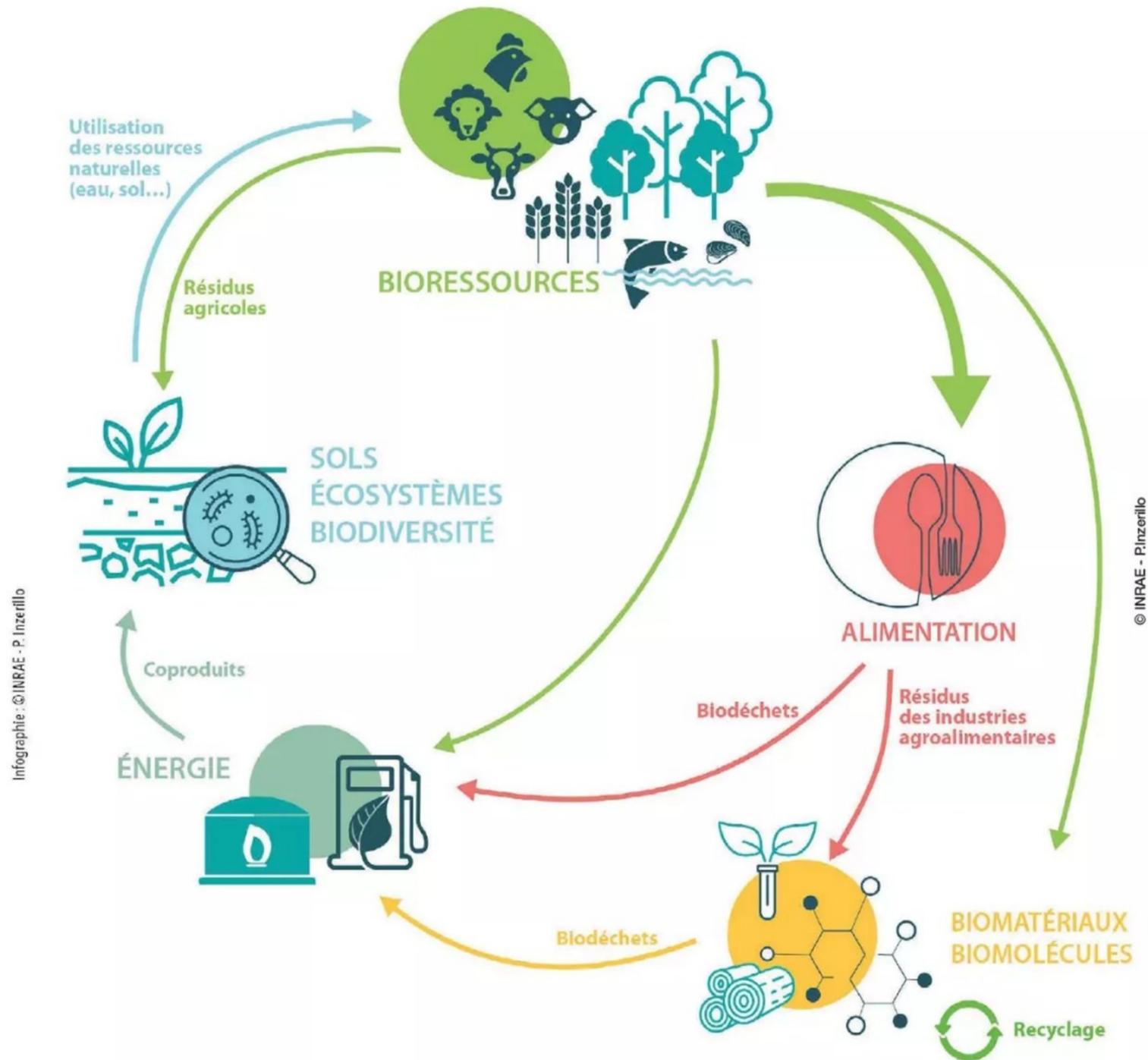


La France est le 4^e pays européen en surfaces boisées.

En France, la Stratégie nationale bas carbone* envisage d'atteindre l'objectif de zéro émission nette de gaz à effet de serre (GES) d'ici à 2050. Il en est de même dans la plupart des pays européens.

*www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc

Les atouts de l'économie circulaire



Le principal avantage de la biomasse est d'être constamment recyclée : on parle d'économie circulaire.

Prenons le bois par exemple. Les arbres contiennent nombre de composés chimiques extractibles par l'eau ou l'éthanol. Or, lors de la transformation industrielle du bois, les parties en contenant le plus (écorce, noeuds...) sont généralement brûlées pour fournir de l'énergie ou servent de copeaux pour recouvrir les sols. Le projet EXTRAFOR_EST (2017-2021), dans les régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté, a mesuré la quantité de composés chimiques présents dans les

espèces locales exploitées par l'industrie du bois, et a déterminé quelle quantité de biomasse pourrait être disponible et pour quelle utilisation, au niveau national comme international. Le succès de cette étude a mené au développement actuel de deux filières locales forêt-chimie. L'INRAE les encourage en étudiant la caractérisation des propriétés fonctionnelles des composés.

Technique ancestrale, le gemmage effectué permet de récolter l'oléorésine produite pour cicatriser une blessure opérée sur leur tronc. Une fois purifiée et distillée, elle donne la colophane et l'essence de térébenthine riche en

éléments chimiques employés en médecine, en cosmétique ou en droguerie. Aujourd'hui, en Europe, le gemmage est presque exclusivement pratiqué sur les pins maritimes. La technique employée consiste à réaliser une pique circulaire dans l'écorce pour éviter d'endommager le tissu cellulaire de l'arbre, puis à appliquer une pâte sur la plaie pour retarder la cicatrisation. Ensuite, un réservoir étanche permet de recueillir l'oléorésine tout en évitant l'évaporation des composés volatils.

La plupart des résineux produisent de la gomme après une blessure, il serait donc envisageable de relancer l'activité de gemmage sur



Les résidus du bois contiennent nombre de composés chimiques dignes d'intérêt.

d'autres essences : mélèze, épicéa, sapin ou pin sylvestre. Dans la région Grand Est, ces essences abondent. Les chercheurs d'INRAE Grand Est-Nancy et de l'université de Lorraine, dans le cadre du projet GEMM_EST, ont étudié pendant deux ans 5 espèces de résineux, révélant que le pin sylvestre s'avère le

plus productif avec une production de 500 g par arbre et par an d'oléorésine. Ce qui demeure toutefois bien moins que le pin maritime (3,5 kg par arbre et par an), mais qui suffit à envisager son exploitation localement. Pratiqué dans les dernières années précédant la coupe de l'arbre, le gemmage

pourrait ainsi assurer un complément de revenus aux propriétaires.

Autre exemple : les os des animaux de boucherie, qui représentent entre 30 et 50% de leur poids, sont gaspillés car considérés comme des résidus. Ils sont donc brûlés, ou bien utilisés pour fabriquer croquettes et pâtés pour chiens et chats, ou encore huiles techniques. Et pourtant ils contiennent des molécules dotées de propriétés quasi impossibles à répliquer par synthèse chimique ! Comme par exemple les antioxydants synthétiques destinés à améliorer la conservation des aliments, mais qui peuvent en altérer le goût, la texture, voire la digestibilité. Grâce à leur compatibilité biologique, les molécules animales antioxydantes isolées par les chercheurs d'INRAE dans les os des bovins ne modifient pas les propriétés de la viande. De plus, elles présentent des avantages nutritionnels et peuvent être à la fois antioxydantes, antidiabétiques et antihypertenseurs. Parmi leurs nombreuses utilisations, on pourrait concevoir des emballages dotés de propriétés antioxydantes et antimicrobiennes qui protégeraient naturellement les aliments, des biofiltres pour la dépollution des eaux usées, des crèmes cicatrisantes ou hémostatiques, des cosmétiques, etc.

Des plantes pour remplacer les polymères issus du pétrole

Parmi les plantes représentant de formidables sources de biomasse lignocellulosique (la source de carbone renouvelable la plus abondante de la planète), le miscanthus se distingue...

Sa culture requiert très peu d'engrais, ne demande aucun entretien, aucun traitement phytosanitaire, et elle n'empiète pas sur les terres nécessaires à l'alimentation humaine. Cette grande plante utilisée essentiellement pour la litière animale et le paillage horticole,

et depuis peu comme additif pour l'alimentation des vaches laitières, peut atteindre plusieurs mètres de hauteur. Elle est peu cultivée en France, mais cela pourrait prochainement évoluer. Les industriels s'y intéressent en effet, par exemple pour la fabrication de béton ou de matériaux composites en remplacement de la fibre de verre. Cependant, la variété présente en France est stérile et les coûts d'installation de la culture élevés. La solution serait d'employer des variétés multipliées par graines fertiles, mais cette plante pourrait

alors être invasive. Les chercheurs étudient donc actuellement le développement de variétés de miscanthus capables de produire de grandes quantités de graines donnant lieu à des plantes stériles. Les premiers essais sur le terrain pourraient débuter dans quelques années.

Le lin, par contre, est largement cultivé en France (principalement en Normandie) puisque notre pays est le premier producteur mondial de lin textile. Les fragments de paille,

recupérés après la récolte des longues fibres de lin pour la fabrication de tissus, étaient eux aussi utilisés pour le paillage ou la litière animale. Aujourd'hui c'est l'ensemble de la plante qui est employé pour répondre aux nouvelles attentes du marché. Les fibres sont incorporées à divers polymères et servent ainsi à la fabrication de matériaux composites dont la qualité d'usage est améliorée grâce aux remarquables propriétés mécaniques du lin. De plus, à performance mécanique égale, ces fibres naturelles sont plus légères que les fibres synthétiques comme la fibre de verre. C'est pourquoi l'industrie automobile commence à les employer pour le garnissage des coffres, des tableaux de bord ou des portières. L'avantage de ces biomatériaux est de réduire le poids des véhicules et par conséquent leur consommation de carburant. Dans le bâtiment également, on installe des panneaux composites à base de lin afin d'augmenter l'isolation thermique et phonique. Enfin, associée au carbone, la fibre de lin confère d'excellentes capacités d'absorption des vibrations que le carbone seul ne possède pas. Ce matériau composite hybride dissipe jusqu'à 40% de l'énergie qu'il reçoit. Les applications sont donc nombreuses : elles vont de la raquette



La France est le premier producteur mondial de lin textile.

de tennis aux cadres de vélo en passant par les coques de bateaux.

Le lin serait-il donc le candidat idéal pour remplacer des polymères issus du pétrole ? Un problème apparaît encore ici : son coût demeure relativement élevé par rapport à d'autres fibres exotiques, et sa durabilité reste à démontrer. Des chercheurs français, notamment d'INRAE, et italiens ont mené une étude sur des fibres de lin prélevées sur 4 tableaux italiens peints au XVII^e et XVIII^e siècle. Les résultats montrent que les fibres de lin sont sensibles aux variations de température et d'hygrométrie, ou encore au contact de certains composants chimiques ou organiques (colles, peintures...). Alors que des fibres de lin provenant d'un linge mortuaire égyptien vieux de 4000 ans présentaient un bien meilleur état de conservation ! Il s'agit donc de mieux comprendre le processus de vieillissement des fibres de lin pour prévoir leur durabilité lorsqu'elles seront associées à d'autres polymères. Selon l'application recherchée, il faudra garantir la durabilité la plus longue possible ou au contraire accélérer la dégradation des fibres. En effet, leur dégradation



La fibre de lin possède des capacités remarquables qui pourraient lui permettre de remplacer des polymères issus du pétrole.

rapide peut constituer également un réel avantage pour le recyclage des matériaux composites en fin de vie, alors qu'il est difficile de séparer les différents polymères les uns des autres. L'utilisation d'écomatériaux à base de lin, dont les propriétés mécaniques demeurent optimales pendant 15 ans, serait indiquée pour la fabrication d'objets à la durée de vie utile relativement courte (certaines pièces mécaniques, des filets de pêche...). La phase de recyclage de ces objets serait facilitée et une pollution durable de l'environnement en cas de perte ou de casse serait évitée.

Tournesol et crustacés pour des panneaux isolants

Encore une fois, dans le cas du tournesol, les tiges ne sont guère utilisées après la récolte. Pourtant, leur enveloppe est constituée de fibres extrêmement résistantes qui protègent la moelle très poreuse dont la texture rappelle le polystyrène. Les chercheurs estiment que ces matériaux peuvent présenter des propriétés mécaniques et thermiques dignes d'intérêt : mais il reste à le démontrer.

Le projet Demether, mené de 2011 à 2015, a permis d'explorer de nouvelles voies de valorisation de ces coproduits, par exemple leur utilisation dans la fabrication de panneaux isolants pour le bâtiment. Le matériau obtenu est suffisamment performant pour rivaliser avec les panneaux traditionnels, et de plus il est intégralement biosourcé car la colle employée pour lier les particules est constituée de chitosane, extraite de la chitine qui compose la carapace des crustacés. Ces produits peu coûteux, durables et renouvelables, ne remplaceront pas à eux seuls les panneaux pétrosourcés, d'autant qu'ils ne conviennent pas à tous les usages, mais ils représentent un pas en avant pour accompagner le secteur du bâtiment dans la transition énergétique.

De nouveaux matériaux à partir de coproduits alimentaires

Comme matériau nocif pour la planète, le plastique figure parmi les premiers. En plus de son impact en termes d'émissions de CO₂, le désastre écologique qu'il risque d'entraîner avec les mégatonnes de micro et nanoparticules de plastiques qui s'accumulent pour des centaines d'années dans les sols et dans les océans est encore plus inquiétant.

La loi AGEC (anti-gaspillage pour une économie circulaire) a pour objectif de mettre fin aux plastiques à usage unique : elle interdit par exemple l'usage des plastiques pour l'emballage des fruits et légumes frais. Mais il reste beaucoup à faire dans ce domaine, et notamment changer profondément les usages et les mentalités de chacun, industriels comme consommateurs.

Les solutions pour développer des bioplastiques sont particulièrement attendues et la recherche se développe en ce sens. Les scientifiques, notamment d'INRAE, sont parvenus à élaborer des bioplastiques, destinés à l'emballage alimentaire, à partir de résidus liquides et de coproduits des productions



Développer des bioplastiques est indispensable à la planète.

agricoles. Les liquides sont constitués des eaux de lavage des huileries ou des laiteries et des effluents urbains, et sont employés comme substrat de fermentation pour des bactéries qui stockent du PHA, un polyester

biodégradable. Puis ce dernier est associé à des coproduits solides de productions agricoles - sarments de vigne, paille ou fumier - dans des proportions ajustables selon les besoins de conservation des aliments.

Les chercheurs ont aussi développé des outils informatiques permettant de concevoir des matériaux qui puissent être réutilisables, recyclables et biodégradables. Le projet NoAW, récompensé en 2021 par le trophée les Étoiles de l'Europe (ciblant des projets de recherche au service d'enjeux sociétaux majeurs), harmonise ainsi toutes les étapes du cycle de vie du matériau, depuis la création de la matière première en passant par l'usage du produit, jusqu'à son recyclage puis sa disparition totale dans les cycles naturels de notre écosystème. À Vérone, en Italie, une bioraffinerie pilote a été développée pour coupler, grâce à un processus de digestion anaérobie en deux étapes des effluents, la production de bioénergie par méthanisation et la production de PHA. L'argent, matériau également néfaste pour la planète, est employé depuis le XX^e siècle sous forme de nanoparticules afin de démultiplier sa zone d'échange avec l'environnement, ce

qui permet d'en utiliser beaucoup moins. Malgré tout, la toxicité des nanoparticules d'argent demeure préoccupante. De par leurs propriétés antimicrobiennes, elles sont utilisées dans les cosmétiques, les emballages alimentaires, les produits ménagers, le matériel dentaire, les dispositifs de traitement de l'eau, les peintures, etc. Ces nanoparticules se présentent sous forme d'agrégats, alors que seules les particules situées à la surface, à proximité des bactéries, sont utiles. La solution serait donc de ne conserver qu'une enveloppe en argent et de remplacer le cœur de nanoparticules par un matériau biosourcé, ne présentant pas de danger pour l'environnement.

Les chercheurs d'INRAE s'intéressent depuis plusieurs années à la cellulose, le biopolymère le plus abondant sur Terre : contenue dans la paroi des cellules végétales, elle est notamment utilisée dans la fabrication de

papiers et textiles. Après étude de formulations associant des nanoparticules d'argent, de diverses formes et tailles, ancrées à la surface de nanocristaux de cellulose, ils sont parvenus à obtenir une activité antibactérienne optimale grâce à des nanocristaux constitués de 20% de nanoparticules d'argent et 80% de cellulose. Au-delà de son gain d'efficacité, cet hybride a l'avantage de se disperser aisément dans les liquides. Il pourrait par conséquent être employé dans des peintures qui, une fois appliquées et sèches, conserveraient leurs propriétés biocides. En présence de bactéries, les nanoparticules d'argent se dissolvent et perdent leur toxicité : il ne reste alors que le cœur de cellulose biodégradable. En l'absence de bactéries, la faible quantité de nanoparticules d'argent qui compose l'hybride limite de façon conséquente les dommages qu'il peut causer sur l'environnement.

Un « caoutchouc » naturel à base de tomate

Des produits vraiment sans nocivité pour l'environnement peuvent être également obtenus en récupérant les déchets de l'agro-industrie...

Prenons l'exemple de la tomate. Transformée à grande échelle pour la confection de sauces, de jus, etc., elle laisse de nombreux déchets (peaux et pépins) souvent peu valorisés. L'industrie de la tomate génère, à elle seule, 1,5 million de tonnes de déchets par an. Les scientifiques d'INRAE étudient depuis des décennies la structure et la fonction de la peau de la tomate, appelée cuticule. En effet, comme elle constitue l'interface entre le fruit et son environnement, son étude permet de sélectionner les plantes les mieux adaptées pour résister aux différentes agressions (pathogènes, sécheresse...), et également d'envisager toutes les possibilités de valorisation. Les propriétés de la peau des fruits sont inestimables. Extrêmement fine, elle est hydrophobe, insoluble et très élastique. Obtenir un



matériau ayant ces mêmes propriétés s'avérerait particulièrement intéressant. Les chercheurs ont ainsi élaboré un procédé permettant de déconstruire la cuticule et de libérer ses

constituants, parmi lesquels des acides gras hydroxylés (des composés présents dans la plupart des êtres vivants qui jouent un rôle essentiel notamment pour le maintien de

la membrane et des structures cellulaires). Ces molécules peuvent être réassemblées pour construire un nouveau polymère. Un « caoutchouc » 100% naturel et biodégradable a ainsi pu être créé, et ses propriétés peuvent être modifiées sur mesure, en changeant le schéma d'assemblage selon l'usage désiré (élasticité, antifouling...). Comme le souligne l'INRAE, « si l'on ne mangera jamais assez de sauce tomate pour subvenir aux besoins de l'industrie du pneu, cet écomatériau serait néanmoins idéal pour subvenir aux besoins d'autres marchés à faible volume et à forte valeur ajoutée ou encore pour la fabrication de matériaux composites. »

À noter que les molécules de cutine peuvent avoir une autre application qui est déjà un stade avancé, montrant tous les atouts du biomimétisme. Face à une attaque de pathogènes, la peau des plantes libère des acides gras hydroxylés pour prévenir la plante de



l'agression. Les chercheurs ont alors eu l'idée d'utiliser ces « lanceurs d'alerte » pour créer un stimulateur de défense des plantes afin

de limiter le recours aux produits phytosanitaires. Le procédé a été validé et breveté en 2018.

S'inspirer du vivant : les plantes à traire !



Contribuant à la résistance et à la protection des plantes et des champignons, la lignine, la chitine, la cellulose sont d'inépuisables réservoirs de molécules : un carburant essentiel de la chimie verte.

Malheureusement ces composés sont particulièrement difficiles à dégrader. Mais certains organismes comme les termites y parviennent sans difficulté. Les chercheurs s'en inspirent donc...

Ils ont commencé par concevoir un herbicide biosourcé efficace à 100% dont les premiers essais sont encourageants, même s'il reste de nombreux travaux à mener pour parvenir à sa mise au point. De plus en plus, les molécules impliquées dans la défense des plantes sont identifiées, et celles-ci révèlent d'autres propriétés, notamment anti-inflammatoires et antioxydantes.

Ces propriétés ne sont pas étonnantes : depuis 500 millions d'années, les plantes n'ont pas cessé d'évoluer pour s'adapter à leur environnement. Elles ont du développer des mécanismes de défense, basés sur la production de molécules toxiques pour leurs agresseurs. On en connaît déjà des milliers mais il en reste encore plus à découvrir. À l'Institut national polytechnique de Lorraine et à INRAE, les scientifiques ont développé une technologie originale : les plantes à traire ! Elle est mise en œuvre depuis 2005 par une start-up, PAT

(Plant advanced technologies), dans de vastes serres abritant des centaines de végétaux d'espèces et d'origines diverses. Leurs racines, une fois stimulées, émettent des centaines de molécules. Ces dernières sont récupérées sans abîmer la plante, à l'occasion de coupes ponctuelles. Puis elles sont analysées pour déterminer leurs actions : herbicide, anti-inflammatoire, antifongique... Ces capacités peuvent d'ailleurs être cumulées dans une seule plante. L'industrie pharmaceutique, la cosmétique et l'agro industrie s'y intéressent.

Le biomimétisme consiste à s'inspirer de la nature, des plantes comme des animaux. Certains chercheurs d'INRAE, associés à la société Ynsect et à un laboratoire de l'université Paris-Est-Créteil, étudient les termites. Quelles sont les ressources cachées de ces insectes ? Leur carapace est constituée de chitine, un polysaccharide utile en pharmacologie, cosmétique ou agriculture, tandis que leur pulpe représente une source de protéines et de lipides pour l'alimentation animale. Élever des termites pour extraire ces ingrédients d'intérêt est donc envisageable. Mais le principal défi du projet ZELCOR, mené de 2007 à 2021, était d'arriver à alimenter des colonies avec des coproduits de l'industrie papetière et de la fabrication de biocarburants. Car si



En matière de biomimétisme, les chercheurs s'inspirent des termites.

certaines espèces consomment du bois, il est bien plus difficile pour elles de s'accommoder de produits pauvres en cellulose et contenant des composés chimiquement complexes et résistants (lignines, humines...).

Généralement, ces résidus industriels de transformation de la lignocellulose sont brûlés pour fournir de l'énergie. Cette combustion émet du CO₂, et de plus la valeur ajoutée de cette transformation est réduite.

Les chercheurs ont donc conçu un dispositif d'élevage de termites, mais aussi un procédé d'extractions successives qui permet d'exploiter tout le potentiel des lignines et de fournir un substrat adapté à l'alimentation des colonies. L'un des extraits obtenus est particulièrement digne d'intérêt : outre ses propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, il a une action répulsive vis-à-vis des insectes qui pourrait fortement intéresser les fabricants d'emballages alimentaires.

Une plante pour nourrir les saumons et fournir une huile pour peintures

Dans le cadre de la transition agroécologique de l'agriculture, des plantes oubliées comme la cameline reviennent sur le devant de la scène.

Cette plante oléagineuse, cultivée en Europe pendant plusieurs milliers d'années, avait presque disparu au XX^e siècle : on lui préférait des espèces à meilleurs rendements comme le colza ou le tournesol. Cette plante rustique a pourtant l'avantage de présenter une étonnante résistance aux stress biotiques (agressions d'organismes vivants) ou

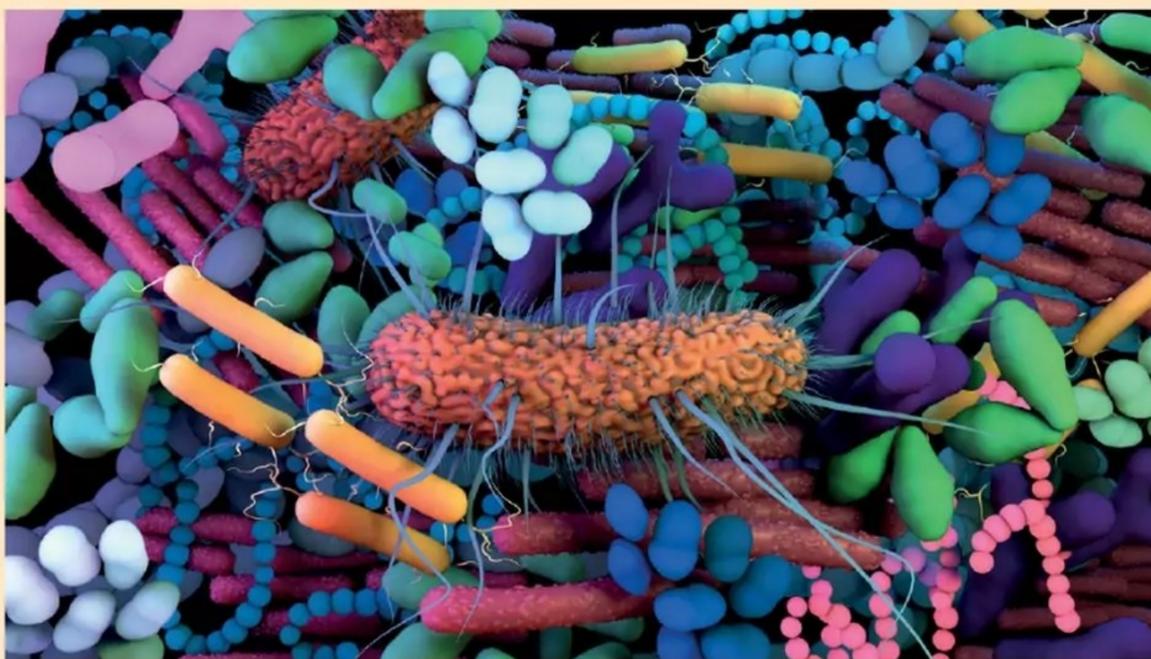
abiotiques (variations environnementales) et elle se satisfait de sols relativement pauvres. Elle peut par exemple protéger les plantes fragiles (pois, lentilles...) en leur servant de tuteur, les éloignant du sol et les conduisant vers la lumière, loin de certains microorganismes pathogènes.

Les chercheurs l'utilisent comme plante modèle, comme ils le font avec l'arabette des dames. Car, parmi ses multiples propriétés, elle dispose de trois sous-génomes. Leur étude permet de mieux comprendre comment

ils interagissent, notamment lors de la reproduction. Les scientifiques peuvent aussi expérimenter facilement la modification de gènes grâce à sa croissance rapide. On peut ainsi obtenir des camelines produisant des huiles de composition et de qualité différentes, adaptées à l'industrie, à la santé, à l'alimentation humaine et animale, ou à la cosmétique. Ainsi, une cameline à très haute teneur en oméga-3 pourrait nourrir les saumons d'élevage, en remplacement des farines animales, ou encore produire une huile adaptée à la composition de peintures et lubrifiants.

Une bactérie qui produit du plastique biodégradable !

Et si les bactéries pouvaient nous aider à lutter contre le changement climatique ? Aujourd'hui, grâce à l'ingénierie métabolique, les scientifiques peuvent doter des microorganismes de nouvelles fonctions, les rendant capables de réaliser des tâches inédites. Ainsi la bactérie *Escherichia coli* a appris à se nourrir de méthanol et à produire des monomères de plastiques biodégradables ! L'intérêt du méthanol réside dans sa capacité à piéger de grandes quantités de CO_2 . Cet « aliment » permet à la bactérie de produire les briques qui, une fois récupérées et assemblées, constitueront le bioplastique.



Ce n'est pas la première fois que l'on fait produire à des bactéries de nouveaux composés à partir du carbone. Ce procédé est employé pour la formulation de biocarburants, mais aussi par l'industrie pharmaceutique notamment pour la production d'insuline. Mais ce carbone provient principalement de sucres issus de plantes cultivées, occupant donc la place de cultures qui pourraient être destinées à l'alimentation humaine ou animale. Alors qu'utiliser du méthanol, ce composé organique très simple obtenu par électrocatalyse du CO_2 présent dans l'atmosphère, comme source d'alimentation des bactéries s'avère particulièrement intéressant : cela permettrait à la fois de libérer des terres arables, et de capturer le CO_2 et réduire la pollution provenant de plastiques issus d'hydrocarbures.

Certaines bactéries peuvent être entraînées à manger n'importe quoi !

Les enzymes gloutons : comment valoriser la biomasse récalcitrante



Les champignons recyclent la matière organique avec des enzymes qui nous seraient bien utiles.

C'est la nature qui nous a donné l'idée de l'économie circulaire : chez elle, tout se recycle ! Par exemple, les champignons métabolisent le bois mort pour en extraire les nutriments, recyclant ainsi la matière organique. Ces mécanismes complexes inspirent les chercheurs pour mettre au point des procédés biotechnologiques de dégradation des polysaccharides, notamment la cellulose (composant des parois cellulaires végétales) et la chitine (composant de la carapace des insectes et crustacés).

Ces dernières comptent en effet parmi les polymères les plus résistants, ce qui est normal puisqu'elles protègent les plantes et les animaux contre les bioagresseurs. Comme nous

L'avons dit précédemment, on les retrouve en grandes quantités dans les coproduits du bois et de l'agriculture, et les molécules qu'elles recèlent intéressent l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique, mais également le secteur de l'énergie notamment pour la formulation de biocarburants avancés et autres produits biosourcés.

Les scientifiques tentent donc d'identifier et de mesurer, chez les champignons, l'efficacité des enzymes impliquées dans la dégradation de ces polysaccharides. Et ces champignons sont particulièrement nombreux : le Centre international de ressources microbiennes d'INRAE en possède une collection de 3000 souches provenant du monde entier. Récemment, les chercheurs ont découvert de nouvelles enzymes oxydatives très performantes permettant de dégrader la cellulose et la chitine. Il faut maintenant intégrer ces biocatalyseurs dans un bioprocédé respectueux de l'environnement. D'ailleurs ces enzymes naturelles produites par les champignons pourraient être employées pour d'autres usages, comme par exemple la dégradation de polymères artificiels dangereux pour l'environnement.

Des bois robustes face aux agressions biotiques et abiotiques, comme le teck, le robinier, le faux-acacia, sont employés en construction pour leur résistance hors norme.



Mais pas seulement du fait de leur extrême dureté. Ces essences, même après la coupe, produisent des molécules toxiques pour leurs agresseurs. Ces dernières intéressent le secteur de la cosmétique, de la médecine ou de l'agro-industrie.

Les chercheurs se sont inspirés des modes d'action des champignons quand ils utilisent des enzymes pour éliminer les molécules protectrices qui freinent leur accès aux sucres (comme la cellulose) contenus dans le bois. À chaque molécule son enzyme. Employées en cocktail par les chercheurs grâce à un procédé

technologique innovant, ces enzymes criblent les molécules présentes dans des extraits végétaux. Il s'avère que ces molécules possèdent souvent des propriétés antifongiques, mais également antioxydantes, insecticides ou herbicides. Le procédé employé est particulièrement rapide : moins de 3 heures suffisent pour identifier l'ensemble des molécules d'intérêt à partir d'un extrait végétal, contre 3 ou 4 jours avec la méthode traditionnelle de culture des champignons. Suite au criblage, le dispositif dresse une cartographie des molécules d'intérêt de l'extrait sous la forme d'un code barre utilisable par les industriels.

Un colorant fluorescent au cœur d'un arbre

Pour prendre l'exemple du robinier faux-acacia, utilisé pour fabriquer les piquets des clôtures grâce à sa durabilité exceptionnelle, cet arbre originaire d'Amérique du Nord et très répandu en France possède d'étonnantes propriétés.

Elles sont dues notamment à la dihydrorobinétine, largement présente dans ce bois, et qui a de fortes propriétés antimicrobiennes. Les chercheurs ambitionnent donc de l'utiliser comme biopesticide. Au cours du projet

WoodProActif, se déroulant de 2020 à 2023, les scientifiques évaluent les effets d'un paillage « bioactif » constitué de broyat de robinier sur la vigne et sur 3 plantes modèles : la tomate, le cyclamen et l'oranger du Mexique. La dihydrorobinétine étant soluble, il suffit d'arroser le paillage pour qu'elle se répande dans le sol. On attend les résultats pour évaluer l'efficacité phytosanitaire et l'absence de toxicité de cette méthode. Au-delà de réduire les intrants chimiques de synthèse, elle permettrait une meilleure répartition et

conservation du carbone accumulé par l'arbre au cours de sa vie, au contraire de la combustion. Et de plus, la molécule pourrait convenir à bien d'autres usages, comme par exemple la formulation de désinfectants de surface, ou encore comme conservateur. Et cela va bien plus loin ! Le bois de cœur du robinier contient entre 5 et 10% de robinétine, une molécule aux propriétés de fluorescence ! Si l'on place un objet taillé dans ce bois sous une lumière noire, il diffuse une intense lumière jaune. Et en rendant soluble le pigment extrait,

on obtient un colorant fluorescent qui peut servir d'encre sympathique. Les secteurs de la mode, de la publicité et de l'événementiel, de la cosmétique sont intéressés.

Comme nous l'avons dit plus haut, les lignines, coproduits de l'industrie papetière et de la production de bioéthanol, sont le plus souvent brûlées sur le site de production alors qu'elles contiennent de nombreuses molécules d'intérêt. 50 millions de tonnes de lignines industrielles servent ainsi dans le monde pour fournir de l'énergie mais, ainsi que l'indique INRAE, on pourrait faire tellement

plus avec cette ressource d'origine végétale renouvelable !

Toujours dans le cadre du projet ZELCOR, des scientifiques d'INRAE et de l'université de Warwick, au Royaume-Uni, se sont employés à convertir, avec des méthodes respectueuses de l'environnement, les lignines (mais aussi la cellulose récalcitrante qui leur est associée) et également les humines en ingrédients et matériaux à haute valeur ajoutée. Ces humines, issues de la condensation des sucres, sont des matières organiques insolubles présentes dans les sols. 16 nouvelles enzymes capables de modifier les lignines ont été identifiées et

produites. Certaines favorisent la dispersion dans l'eau des fractions de lignines solubles uniquement dans des solvants organiques polluants. D'autres leur confèrent des propriétés adhésives, menant à la fabrication de panneaux de particules. L'utilisation de ces procédés à l'échelle industrielle permettrait donc d'éviter le gaspillage de cette précieuse ressource.

Ces découvertes ont permis à Stéphanie Baumberger, la coordinatrice du projet ZELCOR, de remporter le prix spécial du jury lors de l'édition 2021 des Etoiles de l'Europe.

Développer les technologies blanches

Après la recherche et l'innovation, il s'agit d'accompagner le développement des technologies blanches. On appelle ainsi les technologies ayant pour objet la fabrication de produits, l'invention de procédés ou la production de bioénergie à partir de l'utilisation de la biomasse, matière première renouvelable.

En France, un partenariat public-privé unique et original, inauguré en 2012, fédère tous les

acteurs : TWB (Toulouse white biotechnology). Cette initiative favorise la recherche, accompagne des start-ups en leur offrant un accès à l'ensemble des équipements technologiques disponibles, finance des projets d'innovation de rupture susceptibles de déboucher sur de nouvelles briques technologiques.

Transformer la biomasse en une immense variété de produits et services apparaît comme l'une des clés du renouveau industriel. Dans ce



secteur, l'Europe doit demeurer compétitive et indépendante. Coordonné par INRAE, le projet européen IBISBA s'inscrit en ce sens, fédérant les infrastructures de recherche pour accompagner les projets vers leur développement industriel. L'Europe est d'ailleurs pionnière dans le domaine des biotechnologies. Depuis Pasteur en France ou Koch en Allemagne, les centres de recherche européens n'ont cessé d'étudier le vivant : que ce soit pour lutter contre les pathogènes, favoriser les organismes bénéfiques, ou inventer des moyens d'en exploiter le potentiel. Aujourd'hui elle compte faire entrer la biotechnologie dans l'industrie 4.0 en développant l'automatisation de procédés et en intégrant les nouvelles composantes de l'informatique (Internet des objets, intelligence artificielle, cloud computing, etc.).



Beaucoup d'industries sont concernées par les nouvelles solutions issues de la valorisation de la biomasse.

Un exemple de coordination à l'échelle européenne

Bisy, une start-up autrichienne, souhaitait réaliser la production de molécules d'intérêt produites à partir de levures. Tout d'abord un centre de recherche de Barcelone a validé les résultats avant de tester avec succès le procédé. Puis les recherches ont été transférées vers une infrastructure finlandaise pour étudier le projet à l'échelle industrielle. La technologie proposée a ainsi été validée et la jeune pousse a pu la valoriser auprès d'un investisseur. Aujourd'hui, Bisy propose différents services en biotechnologie et est un spécialiste de la production de molécules d'intérêt à partir de levures pour différents secteurs.

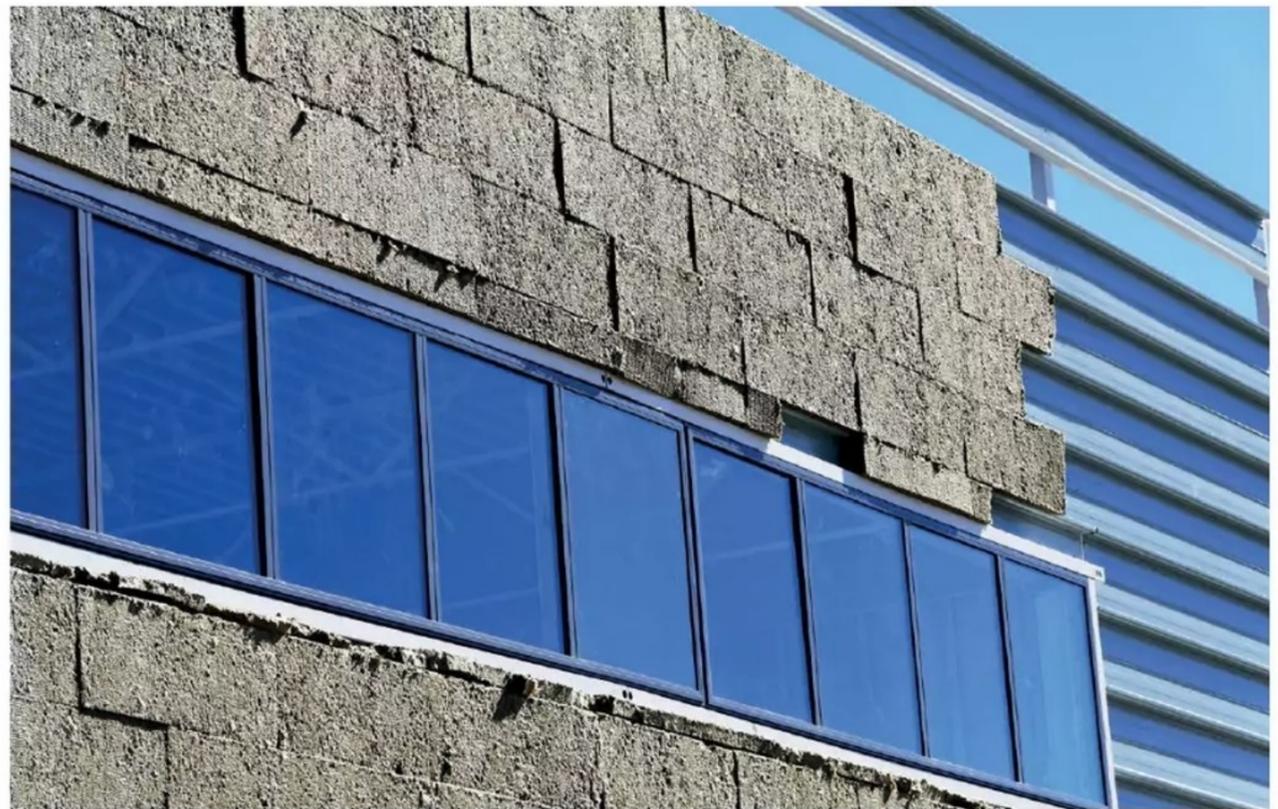
La transition vers la bioéconomie

Des outils sont nécessaires pour aider à développer la bioéconomie...

Si l'on prend l'exemple de la culture du chanvre, on s'aperçoit en effet que les agriculteurs ne peuvent compter que sur leur expérience pour déterminer le moment idéal pour la récolte. Car après fauchage, les pailles sont couchées au sol pour le rouissage. Cela signifie que, pendant 3 semaines environ, les micro-organismes dégradent la matière, facilitant la séparation ultérieure des fibres de périphérie qui serviront en papeterie ou dans l'élaboration de matériaux d'isolation pour le bâtiment, tandis que les autres parties de la plante servent en plasturgie et dans l'industrie textile, et que la partie boisée sert de paillage ou de litière pour les animaux mais également de matériaux pour la fabrication de béton isolant pour la construction.

Mais pour cela, la matière doit être récoltée au bon moment : trop tôt, le rouissage est incomplet, trop tard, les fibres sont altérées.

C'est pourquoi INRAE, l'université de Reims Champagne-Ardenne, l'université de Lille et la société FRD s'emploient à mesurer rapidement, par analyse spectroscopique, le niveau de rouissage du chanvre. Ils ont développé un outil qui analyse le spectre de la lumière réfléchi par un échantillon de paille. De l'ultraviolet à l'infrarouge, ce spectre porte l'information chimique indiquant le processus de dégradation des tiges. En quelques minutes, il est ainsi possible de connaître avec une précision inédite le niveau de rouissage des pailles.



De plus en plus, on trouve des panneaux isolants en matière naturelle.

Autre exemple : pour respecter les objectifs de la Stratégie nationale bas carbone, pas moins de 12 millions de m³ de bois supplémentaire devront être prélevés dans les forêts de France métropolitaine d'ici 2026. Les ressources en bois sont importantes dans notre pays : environ 2,6 milliards de mètres cubes. Cependant, elles sont souvent difficiles d'accès et leur composition est parfois méconnue.

Les chercheurs du projet Protest (Prospective territoriale spatialisée) ont alors profité des technologies innovantes pour cartographier l'ensemble du peuplement forestier d'un territoire et en extraire des données d'intérêt. Ils ont notamment fait appel pour cela au Lidar aéroporté, un outil de télédétection basé sur

l'émission d'impulsions laser à très haute fréquence, et qui génère un nuage de points reconstituant en 3D l'ensemble de la zone survolée. Les cartes des forêts obtenues suite à l'analyse de ces données ont une résolution spatiale de 25 mètres et une précision permettant d'identifier la densité d'une parcelle, sa composition, la taille moyenne des arbres, et son accessibilité. Par contre, le Lidar ne détecte pas les plus jeunes arbres, ne donnant ainsi aucune donnée sur la régénération et donc l'avenir du peuplement. Il faut pour cela faire appel à un forestier sur le terrain afin de déterminer le besoin de mettre en place des mesures de sauvegarde. Les algorithmes créés permettent en effet d'identifier les zones d'habitat susceptibles d'abriter des

espèces animales et végétales vulnérables, ou encore des forêts peu exploitées qui présentent un intérêt pour la conservation de la biodiversité. Les données renseignent enfin sur les services écosystémiques des forêts, comme par exemple en montagne le rôle dans la prévention des chutes de pierres ou des avalanches.

Autre outil d'intérêt pour le développement de la bioéconomie, SI-BOAT (Système d'information sur les biomasses d'origine agricole à

L'olive pour l'énergie, la cosmétique et... les stades de foot !

Parmi les cultures générant de grandes quantités de sous-produits peu exploités, l'oléiculture se démarque. Aussi en Espagne et en Italie, immenses producteurs de ce secteur, des sociétés spécialisées dans la valorisation des déchets récupèrent les grignons (peaux, fragments de noyaux et résidus de la pulpe) et plus rarement les margines (liquides résultant du traitement des olives). Toutefois, les coûts d'exploitation demeurent élevés ce qui rend l'activité pas toujours très rentable.

Alors des initiatives voient le jour pour employer ces sous-produits pour des applications à forte valeur ajoutée. Au Maroc, l'entreprise Aveo transforme la biomasse locale en énergie pour alimenter des hôtels. En Espagne, Elayo Group produit des aliments et des cosmétiques haut de gamme à partir de graines d'olives. En France, la société Méditerranée environnement répand les noyaux concassés sur les pelouses artificielles des stades de foot, à la place de billes de caoutchouc. Des initiatives souvent méconnues mais qui sont plébiscitées par les consommateurs.



l'échelle des territoires) agrège les différentes bases de données sur les producteurs de biomasse. Il permet à l'utilisateur de produire, pour son territoire, un premier diagnostic sur son fonctionnement agricole, sur les acteurs en présence, et quantifier les productions et

flux potentiels. Par exemple identifier les ressources en paille pour mettre en place des filières de matériaux biosourcés, identifier les types d'élevage ou de culture pour les inclure dans des filières de matériaux ou de réutilisation des biodéchets.

Quel impact et quelles nuisances ?

Chaque année, l'Europe génère environ 700 millions de tonnes de coproduits d'origine agricole. La ressource est donc immense.

Pour aider à la transition vers l'économie circulaire, les chercheurs ont mené une vaste étude auprès de 40 entreprises d'Europe et d'Asie, impliquées dans la valorisation des coproduits, pour identifier les facteurs de succès et de risques de ces initiatives. Cela montre qu'il faut bien évaluer l'équilibre entre les bénéfices résultant de l'exploitation de ces coproduits et les nuisances que cela peut apporter (par exemple des nuisances sonores et olfactives pour la population locale). Et

surtout bien prendre en compte les spécificités liées à chaque coproduit et celles du territoire. Rappelons que le développement et la production de biomatériaux coûtent parfois plus cher que leurs équivalents provenant des énergies fossiles : aussi ne peuvent-ils être utilisés que pour des domaines à très forte valeur ajoutée comme les cosmétiques, la santé ou la fabrication de composites.

Un projet comme BESTS porte sur l'impact positif ou négatif des initiatives locales au niveau environnemental, économique et social. Ce qui a conduit à la conception de la plateforme de modélisation MAELIA qui permet de tester différents scénarios. Par exemple,

quelles sont les conséquences de l'installation d'un bio méthaniseur intercommunal sur la fertilité des sols, la production alimentaire, le mix énergétique ou encore les émissions de CO₂ ? Cela fournit les bases pour développer par la suite des outils logiciels adaptés aux préoccupations des différents acteurs.

Car déterminer l'impact environnemental d'une culture est plus complexe qu'il n'y paraît. Prenons l'exemple de la carotte. Son exploitation requiert de l'eau, éventuellement des engrais et pesticides, du diesel pour le tracteur qui la récolte et les camions qui la transportent jusqu'au marché. Mais pourquoi ne pas prendre en compte les matériaux employés pour la fabrication de l'usine qui a produit l'engrais ou le tracteur, et même plus en amont le poids environnemental de l'extraction des matières premières ?

Les chercheurs ont ainsi créé l'Analyse du cycle de vie (ACV), une méthode d'évaluation multicritère des impacts environnementaux d'un produit ou d'un système depuis l'extraction des matières premières jusqu'à leur fin de vie ou leur recyclage. Ils ont à leur disposition



Il serait dommage de ne pas exploiter la biomasse...

une immense base de données, AGRIBALYSE, qui permet de connaître le poids environnemental d'un produit alimentaire depuis sa production jusqu'à sa préparation par le consommateur. Mais également la plateforme MEANS qui regroupe de nombreux développements informatiques pour l'évaluation de la dimension environnementale des

systèmes de production végétale, animale, et de transformation des produits issus de l'agriculture. C'est grâce à cela que des évaluations sont produites régulièrement à destination des scientifiques et des acteurs économiques pour répondre à des questions de société comme les circuits courts, les biocarburants, ou encore les avantages de l'agriculture bio.

Une microferme 2.0 en Guadeloupe

Pour finir, partons à la découverte du projet de microferme KARUSMART, en Guadeloupe, dans lequel est mis en pratique par INRAE depuis 3 ans le concept d'agriculture climato-intelligente.

Augmenter la production alimentaire tout en l'adaptant aux changements climatiques et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, tel est l'objectif de l'agriculture climato-intelligente. La FAO a défini ce concept, extrêmement ambitieux, mais qui reflète l'urgence de la situation.

Sur cette exploitation en agriculture biologique de seulement 1 hectare, la canne à sucre et les bananes jouxtent la zone de maraîchage et la prairie destinée à quelques

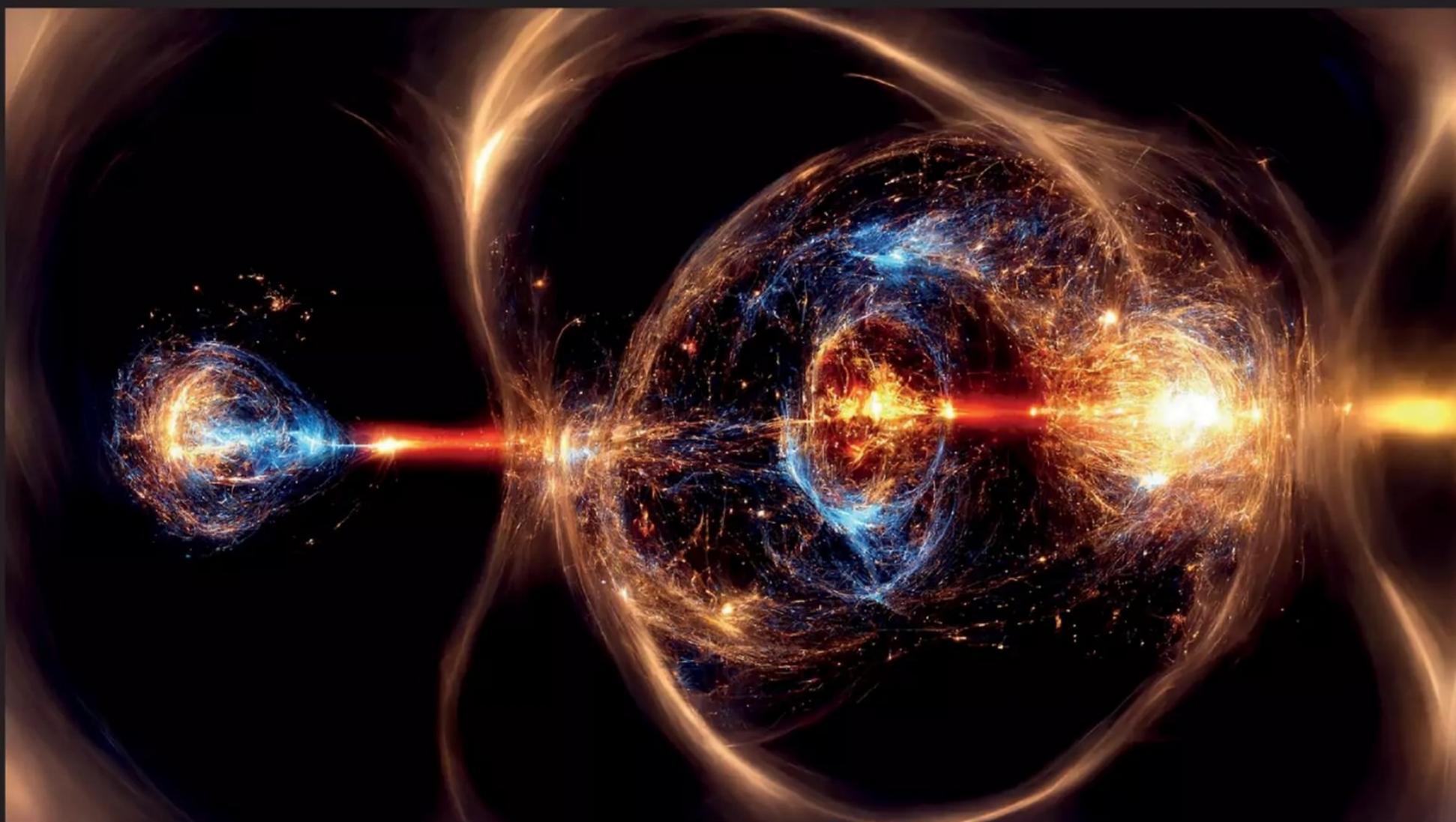
animaux d'élevage. Le principe du jardin créole traditionnel est respecté, basé sur la diversification des cultures et la valorisation des biomasses résiduelles. Mais ici l'organisation est extrêmement rigoureuse afin d'exploiter le moindre mètre carré et d'optimiser les rendements. Les déchets, recyclés sous forme de bio-intrants, participent à la séquestration du carbone. Les bagasses, résidus de la canne à sucre, commencent à être recyclées car elles contiennent d'importantes ressources. En effet, en les répandant sur la zone maraîchère, elles limitent le développement des adventices, protègent le sol lors des fortes pluies, et maintiennent l'humidité au cours de la sécheresse. Sont également testés des cocktails naturels biostimulants pour les plantes, d'ailleurs hérités de l'agriculture

traditionnelle des Antilles. La microferme obtient ainsi des rendements égaux ou supérieurs aux moyennes régionales : 1500 m² suffisent pour nourrir une personne, contre 4000 m² en moyenne en Europe !

Il y a cependant une contrepartie : il faut posséder de solides connaissances techniques et la charge de travail est très importante au niveau de la gestion. Mais les revenus sont d'autant plus élevés, permettant à une microferme de 2 hectares de subvenir aux besoins d'un couple d'agriculteurs tout en assurant une production couvrant les besoins d'environ 12 personnes.

Ainsi, 30 000 microfermes réparties sur l'ensemble de l'île permettraient d'assurer l'autonomie alimentaire de la Guadeloupe.

La course à l'ordinateur quantique



Annoncé début 2021 par le Président Emmanuel Macron, le Plan Quantique pour la France insistait sur la nécessité de soutenir la souveraineté nationale en la matière. Le CEA, le CNRS et INRIA occupent une place centrale dans ce secteur, tant au niveau de la recherche que pour le transfert à l'industrie avec l'émergence de start-ups de haute technologie. Ils sont là pour accompagner le développement de la deeptech dans notre pays et co-pilotent le PEPR (programme d'équipement prioritaire de recherche) quantique.

Spin-off du CEA et du CNRS, SiQuance vient d'être créée pour contribuer à faire du quantique une filière d'excellence française. Elle est le résultat de plus de 20 ans de recherche et de collaboration avec les industriels des semi-conducteurs. Elle a pour ambition de devenir l'une des références mondiales du calcul quantique. « *Grâce aux connaissances développées par le CEA et le CNRS, SiQuance entend développer rapidement un premier processeur quantique sur la base de qubits de spin semi-conducteurs, en s'appuyant sur les capacités de production des usines de semi-conducteurs françaises et européennes (STMicroelectronics, SOITEC, Globalfoundries Dresden)* » explique Maud Vinet, dirigeante de la société. « *Concrètement, ce super ordinateur de demain utilisera la micro-électronique qui se trouve dans tous nos transistors.* »

M. Vinet souligne que les applications envisagées sont multiples et concernent des pans entiers de notre économie. Que ce soit pour résoudre le problème des embouteillages dans les grandes villes, démultiplier les capacités de mise sur le marché des médicaments, repenser les chaînes logistiques complexes, établir des plans de sobriété énergétique ultra précis. Un moyen donc de répondre aux multiples défis du XXI^e siècle.

Avec SiQuance, la France s'engage encore plus dans la course à l'ordinateur quantique.

Le calcul quantique : du bit au qubit

Contourner les limitations inhérentes aux ordinateurs classiques, telle est l'ambition du calcul quantique. Il consiste à utiliser les propriétés quantiques ultimes de la matière (la superposition, l'intrication et la non-localité) afin d'effectuer massivement des opérations sur des données grâce à l'ordinateur quantique.

Ce calcul quantique s'appuie sur des qubits, pendants quantiques des bits classiques. D'un point de vue physique, les qubits sont des systèmes matériels qui peuvent être mis dans deux états quantiques distincts. Conformément aux lois de la physique quantique, le qubit peut être placé dans un ensemble continu de superpositions de ses deux états de base, et ce contrairement au bit classique qui ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1). De même que les bits classiques, les qubits peuvent être utilisés pour encoder une information, et soumis à des portes quantiques (équivalents des portes logiques) en faisant appel à un grand nombre de bits quantiques.

Avec ses propriétés quantiques (superposition et intrication), un registre de N qubits se trouve à un instant donné dans une superposition de ses 2^N configurations de base. Tandis qu'un registre de N bits ne peut, lui, se trouver que dans une seule d'entre elles à la fois. Toute opération appliquée à un registre de N qubits s'effectuerait par conséquent en parallèle sur les 2^N états, là où un ordinateur classique doit traiter l'opération de façon séquentielle. Ce parallélisme massif ouvre des horizons extrêmement prometteurs : il laisse espérer une résolution beaucoup plus rapide de certains problèmes ou l'identification d'une solution à des problèmes actuellement insolubles.

Mais de très nombreux obstacles physiques et technologiques se dressent sur la route du calcul quantique. À commencer par la fragilité de l'état de superposition qui lui est nécessaire. Toute interaction, aussi minime soit-elle, avec l'extérieur - que ce soit par le biais

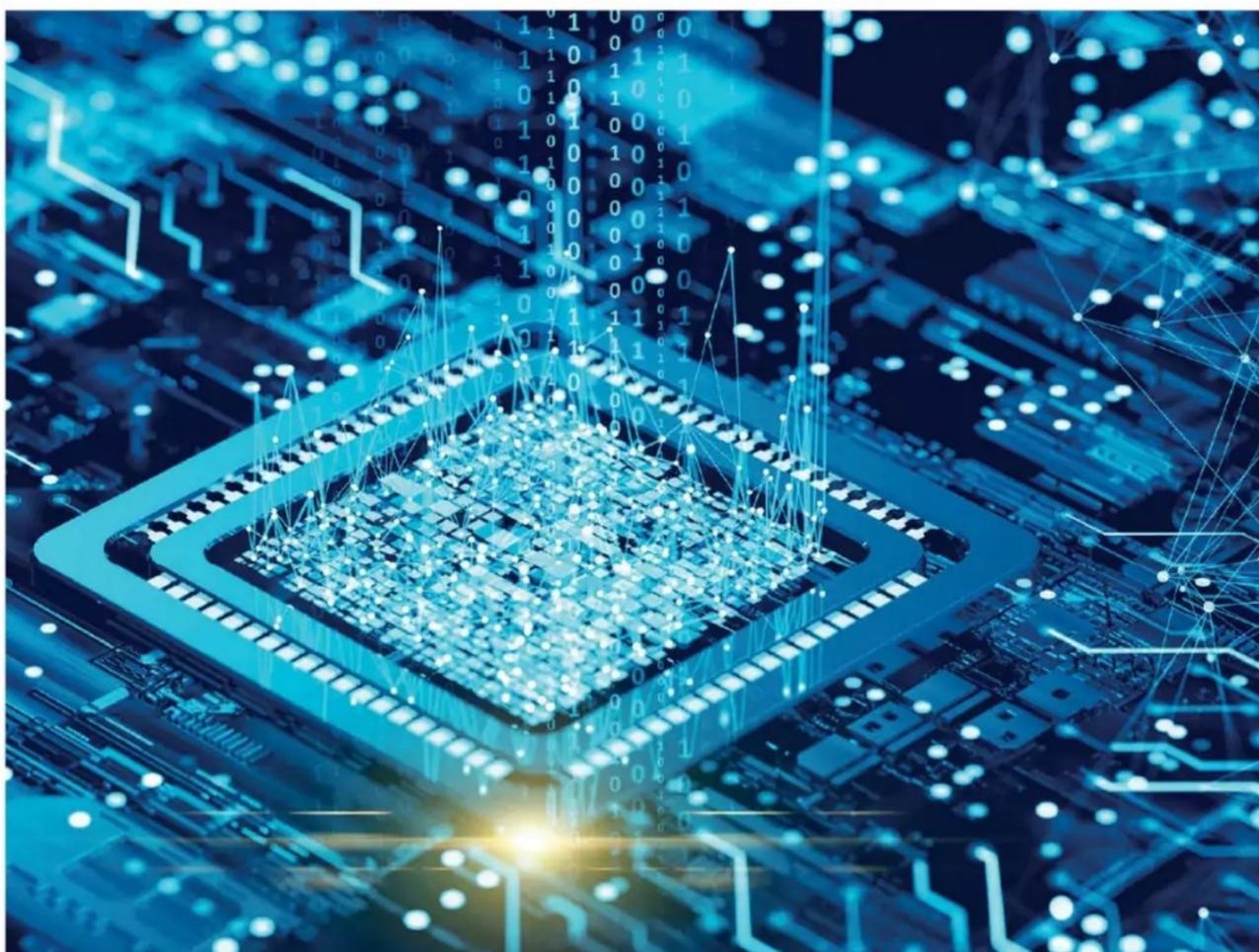


d'interactions avec son environnement ou de mesures effectuées sur le système - a pour effet de détruire la superposition quantique : c'est ce que l'on appelle la décohérence. La difficulté s'aggrave au fur et à mesure que le nombre de qubits intriqués augmente. En effet, le temps de cohérence d'un état intriqué de N qubits est environ N fois plus court que celui d'un seul qubit.

Or, les interactions avec l'environnement ne peuvent pas être réduites à zéro, parce qu'elles sont nécessaires pour appliquer des opérations logiques sur les qubits et en effectuer la lecture. Concrètement, quand le nombre

de qubits augmente, le nombre d'opérations augmente aussi et, pour réaliser des calculs complexes, il faut corriger les erreurs. L'architecture la plus connue pour ce faire, dénommée « code de surface », permet de réaliser un qubit logique, soit un qubit corrigé de ses erreurs, en utilisant la redondance et l'intrication. Cela s'effectue grâce à un grand nombre de qubits physiques (1000 à 10 000) utilisés uniquement pour identifier les erreurs, puis les corriger. Le prix à payer pour cette correction d'erreur est par conséquent une augmentation du nombre de qubits.

Quels sont les enjeux du plan quantique ?



D'un montant total d'1,8 milliard d'euros sur 5 ans, le plan quantique français ambitionne de positionner la France, et plus largement l'Europe, au plus haut niveau de la course mondiale à l'ordinateur quantique.

La capacité anticipée des ordinateurs quantiques à résoudre des problèmes de calcul aujourd'hui sans solution souligne l'enjeu stratégique et de souveraineté de la maîtrise de ces technologies. Même s'il n'y a pas consensus sur les chiffres exacts, les analystes convergent dans leurs prévisions. La révolution de calcul que constitue le calcul

quantique pourrait créer plus de 500 milliards de dollars de valeur au sein de toute l'industrie (énergie, transport, santé...) à l'horizon d'une dizaine d'années, lorsque le calcul quantique exprimera tout son potentiel.

Cependant, les premiers prototypes d'ordinateurs quantiques se heurtent au défi du passage à l'échelle industrielle. Ce sont ces défis que SiQuance se propose de relever pour positionner la France et l'Europe aux avant-postes de cette technologie qui est en passe de révolutionner notre quotidien.

Une révolution dans notre quotidien

Lorsque l'on parle de nouvelle révolution industrielle, le mot n'est pas trop fort. Le calcul quantique a en effet le potentiel de résoudre de nombreux défis dans des secteurs divers :

- Circulation : en temps réel et optimisation des trajets ;
- Logistique : optimisation des procédés de distribution complexes ;
- Automobile, aéronautique : calculs aérodynamiques de pointe ;
- BTP : optimisation des matériaux et gains de productivité ;
- Énergie : amélioration de la maintenance des centrales de production d'électricité ;
- Santé, chimie : calculs complexes et accélérés de propriétés chimiques des molécules ;
- Finance et patrimoine : nouveaux outils pour mieux piloter son portefeuille et prendre les bonnes décisions.

Au-delà de ces défis, la capacité anticipée du calcul quantique à casser les cryptages aujourd'hui utilisés impose de préparer les solutions de cryptographie post-quantique.

Au CEA, une recherche de pointe

Depuis les années 80, le CEA est engagé dans la recherche dans le domaine du quantique et a été pionnier des qubits supraconducteurs qui sont désormais massivement développés dans le monde. Comme l'explique Stéphane Siebert, directeur de la recherche technologique

au CEA, « le CEA est depuis plusieurs décennies présent sur toute la chaîne de la valeur du calcul quantique, des matériaux aux algorithmes en passant par l'intégration dans les centres de calcul à haute performance. Il effectue une recherche large sur plusieurs

options technologiques afin de faire progresser les connaissances et dérisquer les choix technologiques. »

Le programme PEPR quantique auquel il participe repose sur un ensemble de projets

dans le domaine du calcul, des algorithmes et du logiciel quantique, des atomes froids et des communications quantiques. Par ailleurs, le CEA, INRIA et GENCI (le Grand Équipement National de Calcul Intensif) ont été chargés de mettre en place la plateforme nationale de calcul quantique hybride (HQI) couplant calcul haute performance et calcul quantique. Le CEA et le CNRS sont aussi mobilisés pour développer des technologies habilitantes comme la cryogénie ou la cryoélectronique. Au plan européen, le CEA est également fortement impliqué avec de nombreux projets en cours. Il est notamment l'un des acteurs du programme Flagship quantique de la Commission européenne quantique et de l'infrastructure européenne EuroQCS.

C'est à Grenoble et Paris-Saclay que les équipes du CEA travaillent sur le quantique,

avec l'Université Grenoble Alpes (Quantalps) et l'Université Paris-Saclay (Quantum Saclay). Elles disposent d'outils d'élaboration de matériaux et de nano-objets, couplés à des moyens avancés de caractérisation et de simulation, qui leur permettent de concevoir des dispositifs innovants.

Par exemple, le CEA accueille au sein du Très Grand Centre de Calcul (TGCC), principal centre de calcul public français installé à Bruyères-le-Châtel et hébergeant déjà un simulateur quantique dénommé 'Quartz' fourni par Atos, une première infrastructure d'ordinateurs quantiques hybrides. Dès 2023, un ordinateur quantique hybride de 100 qubits devrait être hébergé au TGCC ; il constituera le noeud français de l'infrastructure européenne EuroQCS.

L'industrie s'engage...

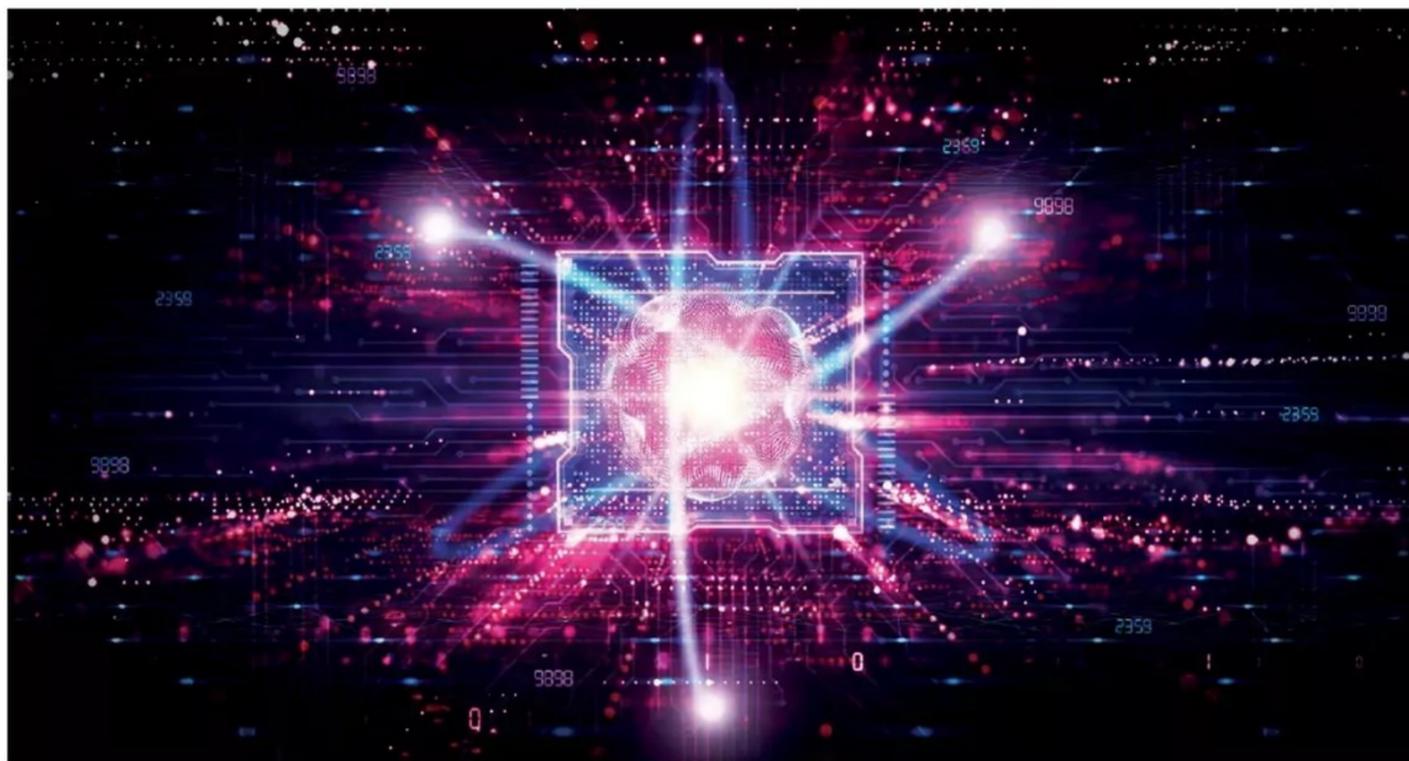
D'ores et déjà, de nombreuses entreprises potentielles utilisatrices comme Merck, Boehringer Ingelheim, Johnson & Johnson, BMW, Airbus, Crédit Agricole CIB, EDF, JP Morgan, Volkswagen, Totalenergies, etc., s'engagent pour quantifier les gains et lancent des preuves de concept pour transposer leurs algorithmes classiques en schéma quantique. Une démarche que l'on retrouve en France, en Europe et dans le monde montrant l'engagement des fabricants de matériel, distributeurs de services et fournisseurs d'accès cloud.

Deux pistes : supraconductrice ou CMOS SILICIUM

En matière de calcul quantique, le CEA suit deux voies complémentaires : la piste silicium CMOS qui, en s'appuyant sur les technologies de la microélectronique, ouvre des perspectives de déploiement industriel, et la piste des systèmes supraconducteur et hybride, avec l'objectif d'inventer des qubits et concepts

Le CEA est l'un des seuls organismes de recherche publics au monde présent dans le top 100 mondial des acteurs de l'innovation (Clarivate 2022), et le seul à cumuler 10 ans de présence cette année dans ce classement.

En France, et en Europe en général, la recherche académique est de très haut niveau dans le domaine quantique. « Notre pays a tous les atouts pour être leader sur l'émergence de start-ups deeptech, au même titre que Israël, les États-Unis ou la Chine » note S.Siebert. De fait, plus de 75% des start-up essayées par le CEA relèvent des deeptech.



de calcul plus robustes vis-à-vis des erreurs quantiques, ce qui pourrait aboutir à de nouveaux paradigmes de calcul quantique.

Dans le cadre de la piste supraconductrice, le qubit supraconducteur est constitué d'une superposition de deux états d'un courant électrique traversant, grâce à l'effet Josephson,

une barrière très fine oscillant à haute fréquence. À ce jour, cette technologie est la plus avancée dans le champ des qubits à l'état solide. Le CEA a produit le premier qubit supraconducteur fonctionnel en 2002, et a réalisé sur cet objet unique toutes les manipulations quantiques fondamentales. Il a inspiré la version actuellement utilisée pour réaliser

des processeurs à base de qubits supraconducteurs, qui a été mise au point à Yale (Etats-Unis) de 2004 à 2006 : le « transmon avec une boîte à paires de Cooper » couplé à un résonateur microondes.

En 2012, l'équipe du CEA a pu réaliser un processeur élémentaire à deux transmons (soit 4 états de base), sur lequel il mit en oeuvre un algorithme quantique élémentaire. Mais la montée en échelle s'avère difficile. Afin de vaincre la décohérence, il faudrait consacrer un très grand nombre de qubits (> 1 000) à la correction d'un seul. Les actions du CEA se focalisent donc sur l'augmentation de la

robustesse du qubit vis-à-vis de la décohérence, pour rendre beaucoup plus simple la correction d'erreur.

Dans le cadre de la piste CMOS SILICIUM, il s'agit de convertir le silicium, sur lequel s'est construite toute l'industrie microélectronique, en support de qubits. À la place du courant électrique circulant dans les transistors au silicium des ordinateurs classiques, il faut réussir à manipuler le degré de liberté de spin d'un électron unique, grâce à des champs magnétiques à très basse température.

L'information est en effet encodée dans le

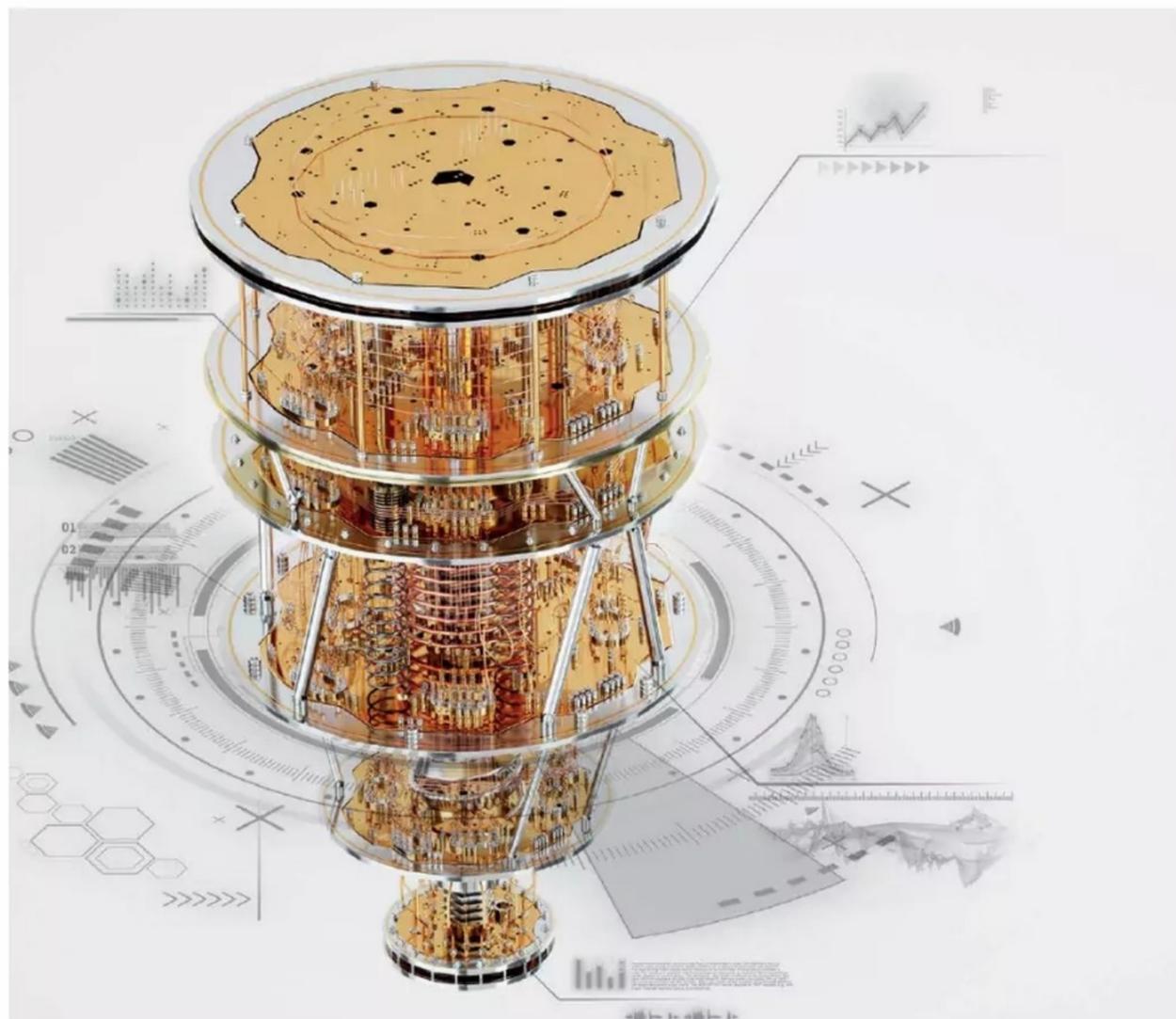
spin de l'électron, devant être conservé le plus longtemps possible en état de superposition. L'avantage de cette piste, qui repose sur le standard CMOS de la microélectronique, réside dans l'existence de lignes de fabrication industrielles qui sont déjà éprouvées. Lorsque les qubits seront mis au point avec une fidélité suffisante pour autoriser leur utilisation pratique à grande échelle, elles permettront d'accéder à une forte densité d'intégration, et par conséquent à une implémentation facilitée de « codes de surface » pour corriger les erreurs.

C'est sur cette voie que SiQuance est lancée.

Le CNRS, une référence mondiale

Les technologies quantiques sont « encore largement une question de recherche fondamentale », selon Sébastien Tanzilli, chercheur CNRS qui supervise le domaine du quantique dans l'organisme. Et le CNRS est un acteur clé de la recherche fondamentale dans ce domaine. L'expertise des laboratoires sous tutelle CNRS, « a été distinguée à plusieurs reprises », remarque Jean-Luc Moullet, directeur général délégué à l'innovation au CNRS. Et ce notamment « par quatre prix Nobel attribués à Claude Cohen-Tannoudji pour le refroidissement et le piège d'atomes avec des lasers, Albert Fert pour la spintronique, Serge Haroche pour l'électrodynamique quantique en cavité, et tout récemment Alain Aspect pour ses travaux pionniers sur l'intrication quantique ».

Diode, transistor, laser, imagerie médicale, transferts d'informations sécurisés... la physique quantique est à l'origine d'avancées technologiques inédites qui ont révolutionné notre vie quotidienne. Elles résultent de travaux établis au début du siècle dernier. Elles ont permis la compréhension des lois qui régissent la matière, la lumière et leurs interactions. Grâce aux extraordinaires progrès expérimentaux des dernières décennies, il est possible d'observer désormais des objets quantiques - photons, atomes ou ions - que l'on a appris à contrôler, individuellement et collectivement. En utilisant les concepts de



superposition d'états quantiques et d'intrication, les scientifiques peuvent préparer et manipuler ces objets quantiques. Un immense champ d'applications est ainsi ouvert.

Engagé dans le Flagship Quantique lancé en 2018 dans le cadre du programme cadre H2020, le CNRS est un acteur majeur de la

structuration européenne autour des trois grands piliers des technologies quantiques : calcul et simulation quantiques, communication quantique, métrologie et capteurs quantiques. Environ 100 start-ups naissent chaque année dans les laboratoires du CNRS, et on en comptabilise déjà 20 dans le domaine quantique ainsi qu'une quarantaine de brevets.

A quand l'ordinateur quantique pour traiter l'information plus efficacement ?

Mais l'ordinateur quantique nécessite encore des efforts à moyen et long termes. Il vise la mise en œuvre d'architectures matérielles ultraperformantes, reposant sur la génération, la manipulation et la lecture de registres composés d'un grand nombre de qubits.

Les calculs en parallèle qu'il est possible de réaliser présentent une efficacité accrue par rapport aux solutions classiques existantes. Cependant, définir un champ d'applications à ce type d'ordinateur requiert d'écrire en même temps les algorithmes de calcul quantique appropriés. A l'heure actuelle, seul un petit nombre d'algorithmes a été identifié pour lesquels les calculs quantiques se montrent plus avantageux que leurs équivalents classiques. L'ordinateur quantique suscite des efforts de recherche considérables, tant dans le milieu académique qu'au sein de grands groupes industriels de l'informatique et d'Internet tels Google, IBM, Intel, Microsoft, ou Atos, lesquels y investissent des moyens très importants.

De nombreuses entreprises issues des laboratoires sous tutelle du CNRS figurent parmi les start-up françaises prometteuses dans le domaine du quantique. Ainsi la société Quandela, cofondée par Pascale Senellart, directrice de recherche CNRS, travaille à l'émergence de nouveaux ordinateurs et de nouveaux réseaux de communication. Ou encore la société Pasqal, cofondée par Alain Aspect, prix Nobel de physique 2022, qui s'attaque aux simulateurs quantiques programmables à l'aide d'atomes froids ayant la capacité de résoudre des problèmes complexes sur lesquels buttent les ordinateurs classiques haute performance.

La start-up Alice & Bob, cofondée par Théau Peronnin et Raphaël Lescanne, a mis au point un prototype de puce Cat-Qubits afin de développer un ordinateur quantique à qubits à autocorrection. Ce type de qubit permettrait d'augmenter considérablement la puissance des puces, pour autoriser le calcul quantique

tolérant aux fautes et l'exécution de n'importe quel algorithme quantique.

Autre exemple, la société WeLinQ, dont l'une des fondatrices est Eleni Diamanti, directrice de recherche CNRS au LIP6, est spécialisée dans le développement de liens quantiques basés sur des mémoires à atomes froids pour interconnecter des processeurs quantiques et assurer l'accès à ces processeurs à distance.

« Grâce au quantique, nous ambitionnons à terme de résoudre de nombreux problèmes à fort impact sociétal comme celui de congestion dans les grandes villes, participer à la transition énergétique ou à la création de médicaments innovants. »

Maud Vinet
Dirigeante de SiQuance.

Une nouvelle approche

Entreprise de la deeptech française, SiQuance a donc pour objectif de développer et de commercialiser un ordinateur quantique à base des technologies du semi-conducteur. Elle s'appuie pour cela sur un portefeuille de plus de 41 brevets avec accord de licence (CEA/CNRS). Sa dirigeante, Maud Vinet, physicienne de renommée internationale et directrice du programme d'informatique quantique au CEA, a à son actif 70 brevets liés aux nanotechnologies.

L'innovation, issue des travaux menés au CEA et au CNRS, consiste à utiliser un transistor, unité de base du calcul classique, pour faire un bit quantique de qualité. En s'appuyant sur les technologies du calcul classique, les défis de passage à l'échelle sont potentiellement résolus. Comme, dès le début, le programme CEA-CNRS dont est issu SiQuance a fait le pari d'utiliser des



voies de fabrication de qubits compatibles avec l'industrie de la microélectronique, il possède ainsi une longueur d'avance technologique sur ses concurrents.

SiQuance devrait ainsi placer la France et l'Europe aux avant-postes de cette nouvelle révolution industrielle.

MAGAZINES, JOURNAUX, CARNETS, ENVELOPPES...

LA BOUCLE DU RECYCLAGE DES PAPIERS

20 kg : c'est le poids moyen des papiers triés par habitant et par an. Cahiers, papiers brouillon, catalogues, enveloppes, magazines... tous les papiers se recyclent. Pour leur donner une nouvelle vie, il suffit de bien les trier. Découvrez les grandes étapes de la boucle de recyclage des papiers.

1. LE TRI

À la maison, au bureau, en vacances, nous déposons tous nos papiers dans le bac ou le point de collecte le plus proche. Pas besoin de les froisser, de les déchirer, ni d'enlever les agrafes ou les spirales.



Près de 3 millions de tonnes de papiers graphiques sont commercialisées en France, fabriquées à partir de pâte à papier vierge ou de papiers recyclés.



5. L'IMPRIMERIE

Le papier recyclé est utilisé notamment pour fabriquer de nouveaux supports : journaux, livres, cahiers...



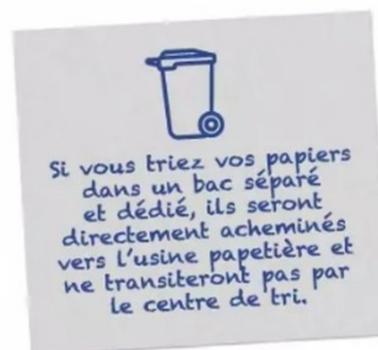
4. L'USINE PAPETIÈRE

En les mélangeant à de l'eau, les papiers deviennent de la pâte à papier. Nettoyée, étalée puis séchée, cette pâte est transformée en feuille géante de papier recyclé et enroulée en bobine.



2. LA COLLECTE

Les papiers et les emballages recyclables sont collectés par les ripeurs et transportés jusqu'au centre de tri le plus proche.



3. LE CENTRE DE TRI

Les papiers sont séparés des emballages recyclables manuellement et à l'aide de machines qui détectent les différents matériaux.



Symboles, olfaction, émotions...



Les mystères du cerveau



Comment les symboles des chiffres deviennent représentés dans le cerveau des enfants ? Comment s'effectue le traitement sensoriel de la perception des odeurs, en lien avec la mémoire ? Quelles peuvent être les conséquences graves d'une mauvaise gestion de ses émotions ? Des chercheurs se sont penchés sur ces sujets pour y apporter des réponses plus ou moins inattendues...

Le cerveau et les chiffres : un mystère propre à l'humain

Apprendre les chiffres arabes constitue une première étape importante de l'apprentissage des mathématiques symboliques chez l'enfant. Mais comment ces symboles peuvent-ils être représentés dans le cerveau des enfants ?

Diverses recherches suggèrent que le cerveau humain est doté d'une capacité innée à approximer des quantités numériques, et ce sans recourir aux symboles. C'est ainsi que les jeunes enfants appréhendent les quantités non symboliques à l'école maternelle, par exemple lorsqu'ils comparent des collections d'objets. Mais contrairement à d'autres animaux, les humains ont inventé des symboles pour représenter et manipuler ces quantités, comme par exemple les chiffres arabes.

On savait peu de choses jusqu'à présent sur la façon dont les représentations des chiffres arabes émergent dans le cerveau des enfants au cours des premières années de scolarité. Notamment, on ne savait pas si ces représentations symboliques, transmises par la culture, étaient liées aux mécanismes cérébraux anciens permettant le traitement de quantités non symboliques.

Afin de répondre à ces questions, comme l'indique l'INSB/Centre de recherches en neurosciences de Lyon, des scientifiques ont mené une expérience d'imagerie cérébrale avec 89 enfants, scolarisés soit en grande section de maternelle (5 ans), soit en CE2 (8 ans). Dans un scanner d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), les enfants pouvaient visualiser des séries de nuages de points et de chiffres arabes. Les chercheurs ont utilisé une technique appelée décodage par apprentissage automatique pour identifier les représentations cérébrales des nuages de points et des chiffres chez les enfants. Par la même technique, ils ont évalué si des mécanismes cérébraux identiques représentaient les nuages de points et les chiffres chez les enfants, et si cela changeait avec l'âge.



Il s'avère que les chiffres arabes et les nuages de points étaient représentés dans un vaste réseau de régions corticales, autant chez les enfants de 5 ans que chez ceux de 8 ans. Très certainement en raison de l'éducation, ces représentations se développent considérablement entre 5 et 8 ans, particulièrement dans les régions du cortex préfrontal. Le décodage par apprentissage automatique a révélé qu'une région du cortex pariétal inférieur représentait à la fois les nuages de points et les chiffres chez les enfants de 5 ans. Cependant ce n'était plus le cas chez les enfants de 8 ans, pour lesquels les réseaux cérébraux représentant les nuages de points et les chiffres étaient largement séparés.

Ces résultats suggèrent que les enfants exploitent probablement des mécanismes

préexistants qui permettent le traitement des quantités non symboliques lorsqu'ils commencent à apprendre les chiffres arabes. Toutefois, les représentations cérébrales des quantités symboliques deviennent indépendantes au cours des premières années d'enseignement formel des mathématiques.

Cela laisse supposer qu'avec l'éducation, les symboles numériques peuvent s'éloigner progressivement des représentations numériques non symboliques que les humains partagent avec d'autres animaux. Ces résultats apportent un élément de réponse à la question fondamentale du « problème de l'ancrage des symboles ». Autrement dit : comment un symbole obtient-il sa signification dans l'esprit humain ?

Une nouvelle voie nerveuse pour la perception des odeurs

Pour traiter les messages sensoriels, des neurones font cheminer l'information recueillie par l'organe sensoriel vers les différentes structures du cerveau. A chaque étage d'intégration, l'activité de ces neurones est placée sous le contrôle d'interneurones, lesquels exercent une inhibition locale afin de canaliser et de sculpter les messages nerveux. Ce type de circuit est classique chez les vertébrés. Mais n'existerait-il pas un autre circuit ?

L'organe sensoriel de l'odorat se trouve au sommet de la cavité nasale ; il transforme la présence de composés odorants en signaux électriques. Puis ces signaux sont transmis au bulbe olfactif, premier relais du traitement sensoriel. Ce bulbe olfactif traite le signal, notamment en réduisant la quantité d'information à communiquer au cerveau, afin de minimiser le « bruit de fond ». Une fois encodés et traités, les signaux sont transmis au cortex, qui est le siège de l'identification du stimulus et de notre mémoire olfactive. Généralement, l'activité des neurones excitateurs capables d'établir des connexions à longue distance dans le cerveau est placée sous le contrôle étroit d'interneurones : ceux-ci exercent une inhibition locale pour modérer le message nerveux, et éviter ainsi un emballement de l'activité globale du cerveau.

Dans l'objectif de caractériser ces neurones inhibiteurs locaux, des scientifiques de l'Institut Pasteur, du CNRS et d'Université Paris Cité ont découvert, à partir d'un modèle murin, l'existence de neurones capables d'établir des connexions à longue distance depuis le cortex vers le bulbe olfactif. Les chercheurs ont positionné, au niveau du bulbe olfactif, un marqueur fluorescent spécifique des neurones inhibiteurs, et ils ont observé de façon inattendue que ce marqueur remontait jusqu'aux structures dites « supérieures ». Le marqueur se retrouve dans des cellules neuronales localisées dans le cortex olfactif. Les

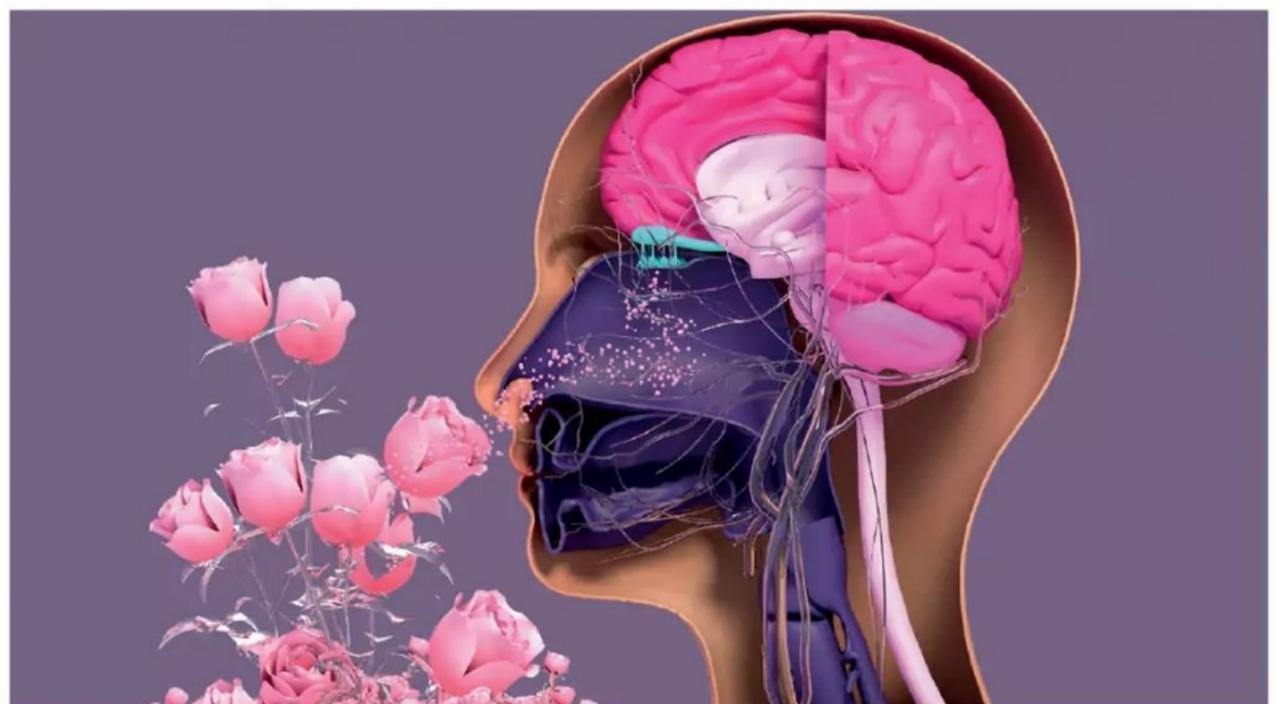
scientifiques ont ainsi découvert une nouvelle voie de contrôle rétroactif qui relie directement le cortex au bulbe olfactif.

Il semble que ces neurones inhibiteurs à longue portée pourraient avoir des effets puissants sur le traitement sensoriel, puisqu'ils contactent tous les divers types de neurones du bulbe olfactif. C'est bien ce que démontre la stimulation spécifique de ces neurones inhibiteurs. Couplée à l'imagerie cellulaire, cette stimulation provoque une réduction globale de l'activité de ces neurones du bulbe olfactif. En outre, la stimulation de ces neurones inhibiteurs rend aussi plus sélectives les réponses olfactives des neurones du bulbe olfactif. En résumé, avec moins de neurones actifs, l'individu améliore sa perception. Effectivement, les neuroscientifiques montrent que l'activité des neurones inhibiteurs du cortex est essentielle pour distinguer des composés odorants similaires, comme par exemple la menthe aquatique de la menthe poivrée.

Constamment, la perception des odeurs est guidée et façonnée sous le prisme de la mémoire olfactive : notre expérience passée assiste en effet le travail de perception et de reconnaissance d'une odeur. Ce lien entre mémoire et perception confère une meilleure capacité de détection d'une odeur au sein d'un

mélange, ainsi qu'une meilleure identification et discrimination de l'odeur par rapport à d'autres odeurs similaires. Les chercheurs démontrent dans cette étude que cet ajustement du traitement sensoriel s'appuie, en partie, sur une rétroaction inhibitrice exercée par le cortex olfactif, siège de la mémoire, sur le bulbe olfactif.

« *La nature et le contexte dans lequel sont envoyés ces signaux inhibiteurs depuis le siège de la mémoire jusqu'au siège de la perception restent encore inconnus* », explique Gabriel Lepousez, chercheur dans l'unité Perception et mémoire olfactive (Institut Pasteur/CNRS) à l'Institut Pasteur. « *L'une des hypothèses est que cette voie permettrait d'optimiser l'attention sur une odeur afin de mieux la reconnaître. Ce type de circuit inhibiteur qui vient d'être identifié, pour la première fois, dans le système olfactif d'un vertébré, pourrait être présent dans d'autres systèmes sensoriels* ». Ainsi, la rétroaction inhibitrice corticale représenterait un nouveau type de circuit nerveux qui affine la perception sensorielle, de manière générale. « *En améliorant la compréhension des mécanismes de perception, ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes sur l'entraînement olfactif, mais aussi sur les troubles pathologiques de la perception* » conclut le chercheur.



Mieux gérer ses émotions pour ne pas vieillir

Les émotions négatives, l'anxiété, la dépression favoriseraient l'apparition des maladies neurodégénératives et de la démence. Mais quel est leur impact sur le cerveau ? Et peut-on limiter leurs effets délétères ? Des neuroscientifiques de l'Université de Genève (UNIGE) se sont penchés sur la question dans le cadre d'une large étude européenne, MEDIT-AGEING, qui vise à évaluer l'impact d'interventions non pharmacologiques pour mieux vieillir.

En neurosciences, « on commence à bien comprendre ce qui se passe au moment de la perception d'un stimulus émotionnel », note la docteure Olga Klimecki, chercheuse au Centre interfacultaire en sciences affectives de l'UNIGE et au Deutsches Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen. « Mais ce qui se passe ensuite reste bien mystérieux. Comment le cerveau passe-t-il d'une émotion à l'autre ? Comment retrouve-t-il son état initial ? La variabilité émotionnelle se modifie-t-elle avec l'âge ? Quelles peuvent être les conséquences sur le cerveau d'une mauvaise gestion de ses émotions ? ».

De précédentes études en psychologie ont

montré qu'une capacité à modifier rapidement ses émotions est bénéfique pour la santé mentale. Au contraire, les personnes qui ne parviennent pas à les réguler et restent longtemps dans le même état émotionnel présentent un risque plus élevé de dépression. Les chercheurs suisses ont voulu « déterminer la trace cérébrale qu'imprime le visionnage de scènes émotionnelles afin d'évaluer la réaction du cerveau, et surtout ses mécanismes de récupération, en particulier chez les personnes âgées. Ceci afin d'identifier d'éventuelles différences entre le vieillissement normal et pathologique » explique Patrik Vuilleumier, professeur au Département des neurosciences fondamentales de la Faculté de médecine et au Centre interfacultaire en sciences affectives de l'UNIGE. Ils ont projeté à des volontaires de courts extraits de reportages télévisés montrant des personnes dans un état de souffrance émotionnelle (lors d'une catastrophe naturelle, d'une situation de détresse...) ainsi que des vidéos à contenu émotionnel neutre, ceci afin d'observer leur activité cérébrale par IRM fonctionnelle. L'équipe a tout d'abord comparé un groupe de 27 personnes de plus de 65 ans à un groupe de 29 personnes d'environ 25 ans. Puis la même expérience a été reproduite auprès de 127 personnes âgées.

Il s'avère que « les personnes âgées présentent de manière générale une configuration d'activité et de connectivité cérébrale différente des jeunes », remarque Sebastian Baez Lugo, chercheur dans le laboratoire de Patrik Vuilleumier. « C'est particulièrement notable dans le niveau d'activation du réseau de mode par défaut, un réseau cérébral fortement activé en phase de repos : son activité est fréquemment perturbée lors d'états dépressifs ou d'anxiété, ce qui suggère qu'il participe à la régulation des émotions. Chez les personnes âgées, une partie de ce réseau lié à la mémoire autobiographique, le cortex cingulaire postérieur, montre une augmentation de ses connexions avec l'amygdale, liée au traitement de stimuli émotionnels importants, et ces connexions sont plus fortes chez

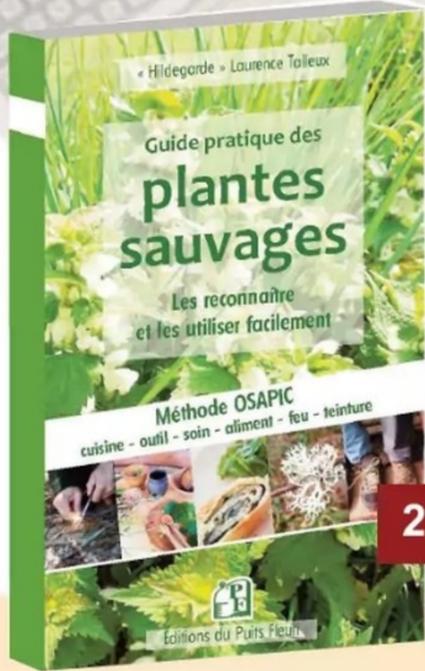
les sujets ayant des scores élevés d'anxiété, de rumination, ou des pensées négatives. » Cependant, les personnes âgées ont tendance à mieux réguler leurs émotions que les personnes plus jeunes, et elles se concentrent plus facilement sur les détails positifs, même pendant un événement négatif. Mais les modifications de la connectivité entre le cortex cingulaire postérieur et l'amygdale pourraient indiquer une déviation du phénomène de vieillissement normal, accentuée chez les personnes montrant plus d'anxiété, de rumination et d'émotions négatives. Or, le cortex cingulaire postérieur est l'une des régions les plus affectées par les démences : cela suggère que la présence de ces symptômes pourrait augmenter le risque de maladie neurodégénérative.

« Est-ce la mauvaise régulation émotionnelle et l'anxiété qui augmentent les risques de démence ou bien l'inverse ? Pour l'instant, nous ne le savons pas », remarque Sebastian Baez Lugo. « Notre hypothèse est que les personnes plus anxieuses n'auraient pas ou plus de capacités de distanciation émotionnelle. Le mécanisme d'inertie émotionnelle dans le cadre du vieillissement serait dès lors expliqué par le fait que le cerveau de ces personnes reste "figé" dans un état négatif en rapportant la souffrance d'autrui à leurs propres souvenirs émotionnels. »

Pourrait-on prévenir la démence en agissant sur ce mécanisme d'inertie émotionnelle ? Les chercheurs mènent actuellement une étude interventionnelle sur 18 mois afin d'évaluer les effets de l'apprentissage d'une langue étrangère, d'une part, et de la pratique de la méditation, d'autre part. « Et pour affiner encore nos résultats, nous allons aussi comparer les effets de deux types de méditation : la pleine conscience, qui consiste à s'ancrer dans le moment présent pour se concentrer sur son ressenti propre, et la méditation dite "en compassion", qui vise à augmenter activement les émotions positives vis-à-vis des autres », complètent les auteurs.



Revenez à l'essentiel avec nos ouvrages 100 nature

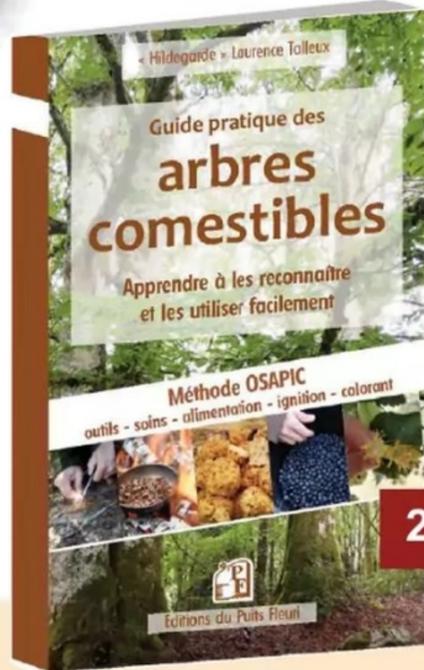


23 €

Cuisine, outil, soin, aliment, ignition, teinture...

Réf. 621

11 x 18 cm - 190 pages

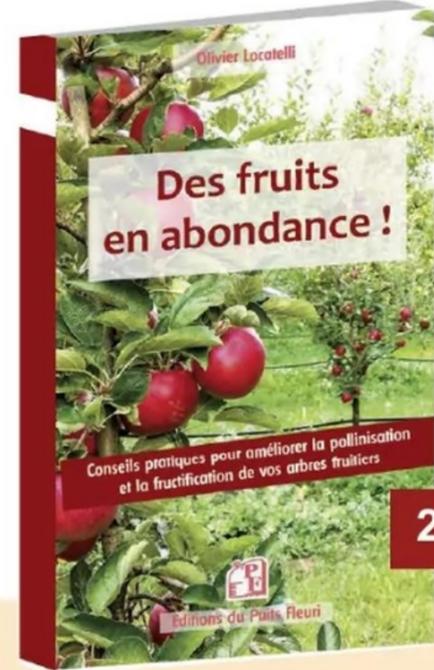


23 €

Outil, soins, alimentation, ignition, colorant...

Réf. 634

11 x 18 cm - 190 pages



26 €

Améliorer la pollinisation et la fructification des arbres fruitiers

Réf. 331

12 x 18 cm - 160 pages

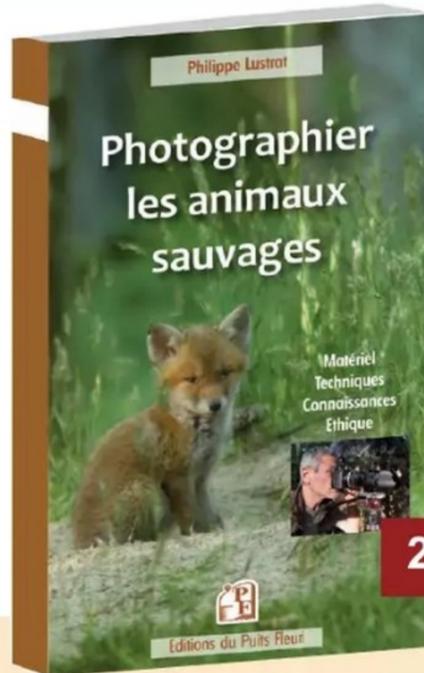


26 €

Pour une utilisation facile à la maison et dans la nature

Réf. 655

12 x 18 cm - 240 pages



23 €

Matériel, techniques, connaissances, éthique...

Réf. 649

12 x 18 cm - 173 pages



19 €

Où ? Comment ? Coût ? S'occuper des abeilles ?

Réf. 606

14 x 19 cm - 160 pages

Bon de commande à renvoyer à : **LAFONT PRESSE**
53 rue du Chemin Vert - 92100 Boulogne-Billancourt

Coordonnées complètes :

Signature
Cachet

vous commande les ouvrages dont les n° suivent :

Ci-joint mon règlement par chèque ou CCP de€ à l'ordre de **LAFONT PRESSE**

Règlement par CB : N° ___ / ___ / ___ / ___ Validité : ___ / ___ N° crypto. : ___

Trois solutions pour la planète



Le célèbre explorateur et environnementaliste Bertrand Piccard, lors du dernier World Impact Summit (WIS).

Comment innover autrement ? Tel était le sujet du World Impact Summit, le Sommet international des solutions à impact positif, dont la 5e édition s'est déroulée fin 2022 à Bordeaux. Que ce soit dans le domaine agricole, technologique, numérique, social ou d'usage, 300 solutions innovantes ont été présentées. Revenons ici sur trois d'entre elles...

Toutes ces solutions portaient autour de grandes thématiques telles que la préservation des milieux naturels, la gestion des déchets et l'économie circulaire, les énergies, les transports et mobilités, le numérique responsable, etc. Étaient présents 10 000 professionnels de l'économie à impact, provenant d'une quarantaine de pays, qui participent donc à la transition écologique et énergétique et sont

engagés pour lutter contre les changements climatiques.

C'est en effet un véritable changement de paradigme que nous devons entreprendre : repenser nos usages et innover en intégrant la notion de sobriété, construire un avenir durable grâce aux progrès technologiques, produire mieux avec moins de ressources naturelles, accorder le modèle économique

avec les objectifs de réduction d'impact.

Pour sa 5^e édition, le World Impact Summit était parrainé par Bertrand Piccard, le célèbre explorateur et environnementaliste. Rappelons qu'il a identifié, avec sa Fondation Solar Impulse, plus de 1000 solutions efficaces et rentables pour protéger l'environnement avec l'ambition de les faire connaître dans le monde entier.

R'Booster, le bardage chauffant bas carbone innovant



© WIS 2022 - Esteban Mathieu

Parmi les innovations présentées, Air Booster avec sa solution R'Booster transforme les murs des bâtiments métalliques en radiateurs géants, permettant ainsi de réaliser jusqu'à 83% d'économie.

Cette solution bas carbone permet de chauffer en hiver, rafraîchir l'été la nuit, et sécher des denrées alimentaires ou des matériaux. En hiver, alors qu'il ne fait pas 10°C à l'extérieur, il est possible de récupérer de l'air à 51°C ! Avec 600Wc/m², la solution s'avère 3 fois plus puissante que le photovoltaïque. Elle permet de baisser considérablement la facture énergétique des bâtiments professionnels ainsi que l'empreinte carbone.

Concrètement, il s'agit d'un petit chauffage rond de 800W imitant le soleil d'hiver en chauffant le bardage. Un ventilateur fait circuler l'air ambiant au travers les canaux du bardage. Au contact de la tôle, cet air se réchauffe et ressort donc plus chaud. Deux thermomètres permettent de visualiser les écarts de température afin de bien faire comprendre l'augmentation, laquelle est à la fois rapide et importante.

C'est pourquoi R'Booster fait partie des solutions labellisées par la fondation Solar Impulse dans le cadre de l'Alliance mondiale pour des solutions efficaces, et notamment des 50 solutions de l'initiative #Prêtà Voter de cette Fondation pour guider la modernisation du cadre légal et réglementaire.

Avec R'Booster, le « soleil » orienté vers la tôle réchauffe l'air.

NXO Engineering : une nouvelle génération de stations d'épuration

© WIS 2022 - Esteban Mathieu



Fondée en 2016, NXO Engineering est une cleantech spécialisée dans les métiers de l'eau et de la décarbonation industrielle.

Lauréate du concours « I-NOV » de l'ADEME en 2021 et labellisée Greentech Innovation par le Ministère de la Transition Écologique, NXO Engineering a mis au point une technologie de bioremédiation microalgale permettant de proposer des solutions à Énergie Positive et à Carbone Négatif en assainissement collectif et en décarbonation.

Cette technologie adopte un design novateur de par l'utilisation de photobioréacteurs. Son architecture reproduit des conditions de développement idéales pour favoriser la croissance des algues. Elle sert de support optimisé au traitement des eaux usées ainsi qu'à la fixation du CO₂ dans les fumées industrielles.

NXO Engineering : assainir avec des algues.

SAUREA : le moteur solaire autonome

© WIS 2022 - Esteban Mathieu



SAUREA : un moteur sans aucune électronique utilisable partout.

Start-up de la Green Deeptech, SAUREA invente le moteur solaire autonome qui transforme l'énergie solaire en force motrice. Il est adapté aussi bien en site hors réseaux qu'en milieu urbain. Fiable, low-tech, sans aucune électronique, le moteur convertit directement l'énergie solaire en énergie mécanique sans maintenance, avec une garantie de 10 ans. SAUREA prône la sobriété énergétique avec sa technologie à impact et son plein

engagement dédié aux défis écologiques, sociaux et environnementaux : énergie propre, accès à l'eau, confort climatique... Pour y satisfaire, le moteur dispose d'un potentiel applicatif illimité.

SAUREA détient 5 brevets et 6 prix d'innovation. Sa solution permet l'accès à l'énergie durable. Elle peut servir par exemple pour la motorisation (sans maintenance) des pompes

à eau en Afrique, la ventilation et l'extraction d'air sans bilan carbone désastreux, ou encore la création d'îlots de fraîcheur (avec ventilation et pompe) dans tout espace même éloigné des sources d'énergie électrique et des réseaux d'eau potable.

Une solution donc très utile dans le contexte du réchauffement climatique, tant pour sa sobriété énergétique que pour ses usages.

Rencontre avec Joël Bertho

auteur de « Le sphinx est une femme »



© Joël Bertho

Percer le mystère de la construction des pyramides d'Égypte, comprendre les relations entre les peuples de l'Antiquité, et aujourd'hui découvrir quel visage est représenté sur le sphinx de Gizeh... telles sont les recherches menées depuis des dizaines d'années par Joël Bertho, un chercheur passionné auteur de nombreux ouvrages.

Depuis quand étudiez-vous les pyramides ?

Déjà étudiant aux Beaux Arts, l'Égypte antique me fascinait. Depuis plus de 30 ans maintenant, j'ai étudié l'égyptologie et me suis rendu 11 fois en Égypte. Lors de l'un de mes premiers voyages, j'ai remarqué des anomalies dans les assemblages des blocs des pyramides. Je connaissais bien la technique du moulage pour l'avoir utilisée ; aussi lorsque j'ai vu des pierres aux formes impossibles à réaliser en pierres taillées, il m'a semblé possible que du moulage ait été employé. J'ai soulevé le problème dans un livre, « *La pyramide reconstituée* », et me suis rapproché de l'Université des Sciences de Montpellier avec laquelle j'ai travaillé plusieurs années pour tenter de trouver des explications. Avec les docteurs en géologie Suzanne Raynaud et Henri De La Boisse, de Montpellier, et de Farid Makroum, en Égypte, nous avons tenté de démontrer l'hypothèse de pierres reconstituées, c'est à dire de pierres artificielles comparables à nos bétons moulés. Si nous réalisons une pierre artificielle à partir de chaux, au bout d'une centaine d'années, la chaux redevient calcite, c'est à dire de la pierre calcaire, ce qui ne nous permet pas de différencier pierre naturelle et artificielle.

La haute instance de l'égyptologie, en la personne de Zahi Hawas, et l'Institut français d'archéologie nous ont bien accueillis, mais nous n'avons pas eu d'autorisations pour prélever des matériaux. Le mystère est entretenu, il fait venir les touristes en Égypte, c'est ce qui fait tourner l'économie...

Quelles furent vos conclusions ?

Notre étude, publiée dans le Bulletin national de géologie, a démontré que les pyramides de la IVe dynastie du plateau de Gizeh étaient bâties sur des monticules rocheux taillés en escalier. Les ingénieux bâtisseurs avaient construit des pyramides avec beaucoup moins de pierres que le volume des monuments. Le sphinx est lui aussi sculpté à même la roche et recouvert de parement.

Toutefois notre étude n'a pas permis de démontrer qu'il y avait une grande partie réalisée en pierres artificielles. Mais nous y

© Joël Bertho



« Ces dalles n'ont pu être sculptées, leur emboîtement serait impossible. »

arriverons. On a l'impression que personne ne regarde les représentations égyptiennes. Elles sont pourtant très explicatives concernant la construction des pyramides. On y voit entre autres des navires qui arrivent avec des chargements, comme des tas de sable, et comme par magie il en découle des pierres sortant de coffres... Que s'est-il passé entretemps ? C'est l'objet d'une étude en cours car, récemment, on a découvert un port appartenant autrefois au roi Khéops en mer Rouge (Ouadi El Jarf). Cela prouve que les navigateurs de l'époque s'aventuraient loin en mer. Des papyrus trouvés sur le lieu racontent que les marins travaillaient pour la construction de la pyramide du roi. Mais pourquoi aller chercher des pierres aussi loin puisqu'il y en avait sur place ? L'erreur vient du fait que la pierre se nomme « inèr » et le sable et la matière poudreuse aussi. Les bâtisseurs allaient chercher dans

ces régions des matières spéciales qu'ils ne trouvaient pas sur place. Ces matières incorporées au sable des carrières locales permettaient de fabriquer de la pierre reconstituée, un peu comme nos bétons modernes qui font prise grâce à la pouzzolane incorporée (roche volcanique connue depuis l'époque romaine).

Vous vous intéressez également aux contacts que les Égyptiens ont pu avoir avec des civilisations très éloignées géographiquement...

Les civilisations incas, mayas et égyptiennes ont eu des contacts et la momification pratiquée dans ces pays éloignés le montre. En fait, il existe un courant marin, le contre-courant Sud équatorial, qui traverse l'océan Pacifique. Une embarcation partie de la mer Rouge, sans voile ni rame, suivrait ce courant qui traverse l'Indonésie (où se trouvent les pyramides de la civilisation Khmère) au dessus de l'Australie



© Joël Bertho

et arriverait vers le golfe du Mexique. Des courants contraires permettent d'aller vers la Chine et de côtoyer les terres jusqu'à la mer Rouge. D'autres courants entraînent vers le Pérou où l'on a trouvé (sur le site de Caral Supe) des vestiges de pyramides datant de 4500 ans. Il est pour le moins étonnant qu'à la même époque se construisait en Égypte la première pyramide, celle du roi Djoser, à Saqqarah.

Sur l'île de Pâques, on trouve des statues nommées moaïs sur lesquelles il y a des inscriptions hiéroglyphiques égyptiennes ! Il suffit d'aller au British Museum à Londres pour en voir une exposée. L'inscription à son dos signifie « en 3 lunes », c'est à dire en 3 mois de temps. Elle explique, semble-t-il, qu'une traversée aurait duré 3 mois. On y voit le signe en forme d'M avec un pied : ceci est un hiéroglyphe égyptien représentant le son M qui figure sur la tête de la chouette égyptienne, signe le plus utilisé pour représenter le son M dans l'écriture hiéroglyphique. On



© Joël Bertho

A gauche, ce moaï de l'île de Pâques porte des inscriptions semblables à des hiéroglyphes : le M égyptien que l'on retrouve sur le visuel de droite.

ne le trouve dans aucune autre écriture. C'est d'ailleurs lui qui nous a donné notre M. Mystère ou preuve ? On a également trouvé des inscriptions hiéroglyphiques avec le nom de Khoufou (Khéops) en Australie... Escroquerie ? Personne ne les a revendiquées.

Les civilisations importantes anciennes sont situées le long de ces courants et on y trouve les vestiges de nombreux monuments. Les navigateurs auraient créé des comptoirs le long de ces routes maritimes. On n'allait pas d'Égypte en Amérique, on navigait vers l'Indonésie, puis vers la Polynésie, puis vers le Mexique. Des marins étaient enrôlés le long de ces routes maritimes, ce qui explique les sculptures aux visages asiatiques, africains et aborigènes découverts chez les Olmèques et les Mayas. De nombreux glyphes mayas utilisent les mêmes concepts que ceux des Égyptiens avec des façons similaires d'écrire.

La mythologie maya raconte qu'elle a débuté à une date de leur calendrier qui correspond à 3114 avant notre ère. Le dieu Imix représenté sur le temple de Palenque porte une peau de jaguar tout comme les prêtres égyptiens consacrés à l'étude du ciel étoilé. Il est associé à cette date et Imix signifie « commencement » en maya. A la même époque régnait le

roi Narmer en Égypte, dont la palette à fards montre une grande barque qui certainement a permis une grande traversée maritime. Une palette à fards égyptienne de la même époque montre un oiseau ressemblant à une dinde et un lama, or le lama n'existe qu'en Amérique du Sud.

Aujourd'hui vous publiez un ouvrage sur le sphinx (« Le sphinx est une femme » - Editions UNIC). Qu'avez-vous découvert ?

Je me suis intéressé au sphinx d'Égypte car l'énigme de son visage persistait. Comme il est proche de la grande pyramide de Khoufou (Khéops), roi de la IVe dynastie de l'Ancien Empire il y a environ 4500 ans, l'égyptologie a pensé que c'était son visage qui y était représenté. D'autres égyptologues ont suggéré qu'il s'agissait de son fils le roi Djédéfrâ, d'autres encore que ce pouvait être un autre de ses fils le roi Kafrâ (Khéfren) qui a construit sa pyramide près de celle de son père. Mais aucun de ces visages cités ne correspond à celui du sphinx.

Le sphinx représente la royauté égyptienne. Le gouvernant est assimilé au Soleil qui règne sur le monde des humains. Tous les rois et reines qui gouvernaient l'Égypte avaient

leurs visages sculptés sur la statue. Chaque fois qu'un nouveau visage était sculpté, de la matière disparaissait et la tête se réduisait, ce qui explique la disproportion de la tête par rapport au corps de lion.

Qui figure sur le sphinx ? Il porte la clef de l'énigme entre ses pattes. En effet, il y a une stèle mise là par le roi Djyhoutymès IV (Toutmosis IV), de la XVIII^e Dynastie du Nouvel Empire, qui a désensablé la statue à son époque. Pourquoi ? Nous sommes environ 1000 ans après le règne du roi Khoufou. Ce roi rend hommage à sa lignée royale, à Djyhoutymès I (Thoutmosis I) et à sa fille la reine Hatchepsout qui a gouverné à sa suite. Son père l'avait formée et son règne remarquable a laissé des traces dans l'Égypte antique. Elle a su mener le pays sans guerre, a développé le commerce avec les pays voisins et a réalisé de nombreux monuments. Son temple à Deir El Bary, adossé à la falaise, est remarquable de modernité.

Pourquoi aucun autre souverain n'a-t-il été représenté depuis sur le sphinx ?

La fin de la XVIII^e Dynastie est une période de contestations et de transformations importantes en Égypte et voit arriver le roi Akhenaton qui renverse toutes les coutumes et croyances.

Mais qui a donc cassé le nez du sphinx ? Un historien allemand, Ulrich Harman, à travers des textes arabes, a pu dire que cette amputation a été faite au XIX^e siècle de notre ère par un fanatique musulman nommé Mohamed Sa'im al-Darh. L'intégriste ne supportait pas de voir les paysans du lieu se prosterner devant le sphinx au visage féminin pour implorer de meilleures récoltes. Il s'est muni d'une barre de fer et en trois points a attaqué le visage, réussissant ainsi à décoller le nez. Il a été capturé par les paysans et brûlé devant le sphinx.

Pour présenter mon hypothèse, j'ai travaillé avec un spécialiste de l'image informatique. Nous sommes partis de la tête du sphinx au temps de Napoléon Bonaparte. En s'inspirant des représentations de la reine, nous lui avons remis une lèvre inférieure en état, refait un menton qui portait autrefois la barbe postiche royale, remodelé sa coiffure, remis un nez,

des yeux et des couleurs. Nous avons redonné vie à la reine...

Votre passion pour la civilisation égyptienne vous a poussé à apprendre l'écriture hiéroglyphique...

Oui car j'étais persuadé d'y trouver des arguments à mes recherches. Aujourd'hui la mythologie égyptienne est racontée avec des noms grecs, ce qui fausse les données. Je me suis aperçu que cette écriture, redécouverte par Jean François Champollion, était restée en partie incomprise. On n'a pas vu la puissance des hiéroglyphes. Ils forment un genre d'alphabet de 24 phonèmes (nommés unilitères), puis des associations forment des bilitères et des trilitères. Cependant les unilitaires ne sont pas que des sons comme dans notre alphabet, ce sont parallèlement des concepts.

Le phonème R est représenté par une bouche ouverte. Il sert à écrire « la bouche », « le langage », « la porte », « l'ouverture » et, dans la grammaire, « en faveur de », « vers ». Les noms composés avec l'R comme le Soleil RÂ et le jour HR ont un rapport avec tous ces mots symbolisant l'extériorisation. L'écriture ne comporte pas de voyelles et on ajoute des é et des è pour faciliter la lecture, ce nom se prononce HèR. Lorsque le Soleil RÂ s'extériorise, il fait l'ouverture du jour, il ouvre la porte de l'horizon, il ouvre sa bouche et son langage est lumière. Il vient vers nous et éclaire, favorisant de la nature. La porte sert à communiquer et le langage sert à s'ouvrir vers les autres. L'Â qui compose son nom est dessiné par un bras, il sert à écrire « bras », « autorité », « pouvoir », « action », « capacité », et c'est le Soleil qui, par son action, a



Cette palette à fards égyptienne montre un oiseau ressemblant à une dinde et un lama, des animaux vivant en Amérique.



© Joël Bertho



© Joël Bertho

Par des images informatiques, le sphinx retrouve son visage.



© Joël Bertho

la capacité de faire vivre la nature, il a autorité sur la Terre (il est comme son bras droit). Le jour (HR) fait comme le Soleil, il ouvre la porte de l'Est et s'exprime comme l'astre. Autre exemple, l'M est l'intériorisation et sert à désigner « à l'intérieur », « en », « dans », « au sein de »... Aimer (MR) est un sentiment au sein de soi qui s'exprime vers une autre personne. La mère (MT) symbolise celle qui au sein d'elle-même conçoit. En effet, le T représente la conception et le féminin qui l'élabore. Le père (IT) n'est pas féminin, mais il sert aussi à la conception.

Le sphinx a plusieurs noms, celui de She-sep Ankh dit qu'il est l'image vivante (de la lumière bien sûr). Le scribe du roi Khoufou a écrit que c'est le Soleil en personne qui a présidé à l'édification du sphinx. Cela signifie que les artistes ont sculpté le sphinx en fonction du mouvement de la lumière. Son nom Hèr m akhet (Harmakhis en grec) désigne le jour (HR) dans l'horizon.

Le sphinx parle en langage hiéroglyphique...
La nuit, c'est l'ombre du Soleil qui dort. Il fixe éternellement l'Est et lorsque le jour (HR) se lève, son visage (HR) s'illumine de lumière,

© Joël Bertho



La lumière chemine sur le corps du lion pour le parcourir entièrement.

symbolisant le hiéroglyphe HR représentant une face humaine. À cet instant, la face de la Terre qui s'oriente au Sud s'éclaire et le disque solaire montre son visage. Il en va de même pour tous les éléments de son visage qui sont tous des hiéroglyphes. Les yeux, la bouche, le nez, les oreilles apportent des messages. Puis la lumière se déplace et éclaire le sphinx de profil.

Là encore, chaque signe visible représente un hiéroglyphe. La tête de profil est le hiéroglyphe TP indiquant par son homonyme que c'est le premier (TP) moment de la journée. Son serpent sur son front se nomme uraeus en grec mais ÂRT en égyptien et indique que la flamme (ÂRT) du Soleil va se mettre en action. L'œil (IR) unique dit que la création (IR) de la journée est en marche. Sa barbe

postiche (Khabès) indique que le luminaire (Khabès) solaire est en fonction (il l'enlève le soir). L'avant du lion (HAT) est un hiéroglyphe signifiant que c'est l'avant (HAT) de la journée jusqu'à midi. C'est une coupure dans le jour, dès lors la lumière va décliner et se déplacer vers l'arrière du lion, dévoilant le hiéroglyphe PH signifiant arrière et fin. C'est l'arrière et la fin de la journée. La queue (SD) se retourne sur le derrière du lion indiquant que la fête (SD) est finie en Orient. Elle montre le mouvement de la lumière qui se retourne derrière la Terre. Puis le sphinx se transforme en dieu AKR symbolisant le circuit du retournement de la lumière sous la Terre, AKR signifie souterrain et KR signifie sous.

www.editions-unic.fr - contact@editions-unic.fr

Propos recueillis par Sacha Lorens

© Joël Bertho

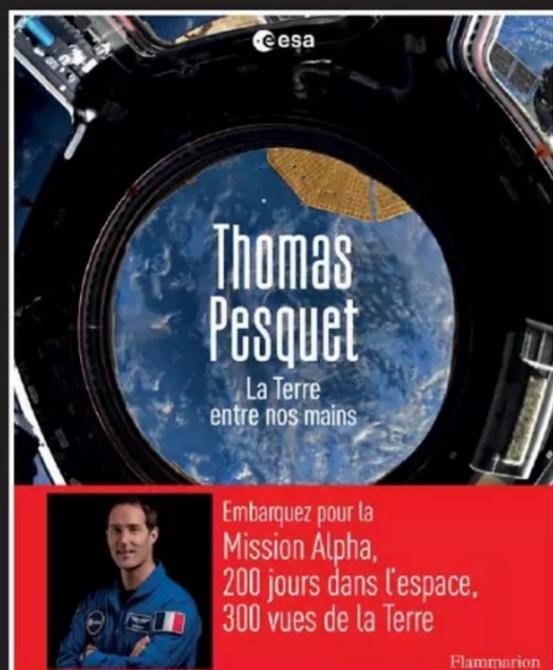


Lorsque le jour (HR) se lève, le visage (HR) du sphinx s'illumine de lumière.

LIVRES



LA TERRE ENTRE NOS MAINS



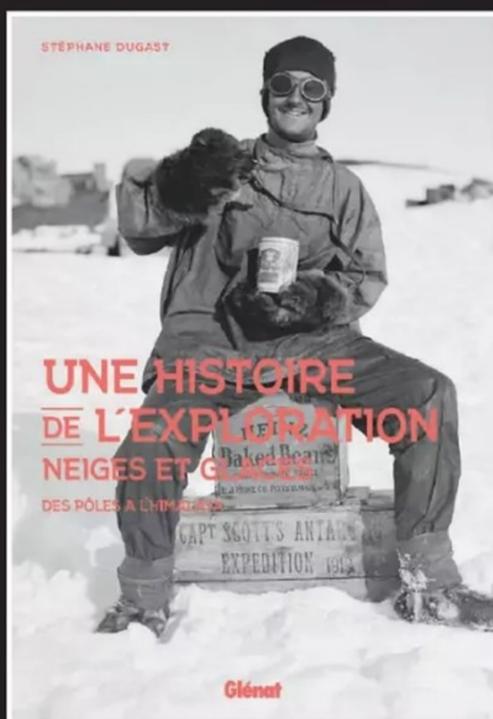
Pour la première fois, les plus beaux clichés de la seconde mission dans l'ISS de Thomas Pesquet sont réunis ici. Des images spectaculaires, fascinantes, qui témoignent de la beauté de notre Terre et de sa fragilité. Réalisé en partenariat avec l'Agence spatiale européenne, cet ouvrage est un plaidoyer pour la préservation de notre planète. Les droits d'auteur sont reversés aux Restos du Cœur.

« *La Terre entre nos mains* »,
par Thomas Pesquet - Flammarion
2023 - 417 pages - 39€



UNE HISTOIRE DE L'EXPLORATION NEIGES ET GLACES

Voici l'histoire, parfois légendaire, parfois méconnue, toujours romanesque, des hommes et des femmes qui se sont lancés dans la conquête des pôles ou à l'assaut des terres inviolées de l'Himalaya. Courageux, rêveurs, épris d'idéaux, partageant un goût pour la découverte et la liberté, ils ont flirté avec le risque pour vivre cette quête avec intensité.



« *Une histoire de l'exploration neiges et glaces : des pôles à l'Himalaya* »,
par Stéphane Dugast - Glénat - 2023
192 pages - 25,95€



1001 FAÇON DE MOURIR DANS L'ESPACE



Découvrir l'espace, assister à la naissance d'une étoile, visiter un trou noir... qui n'en a jamais rêvé ? Mais voir de telles merveilles de ses propres yeux risque de mal finir ! L'astrophysicien américain Paul M. Sutter nous embarque dans un voyage interstellaire drôle et instructif, à la découverte des dangers mortels du cosmos.

« *1001 façon de mourir dans l'espace* »
par Paul M. Sutter - Dunod - 2023
312 pages - 22,90€



LA VIE DES PAPILLONS D'EUROPE



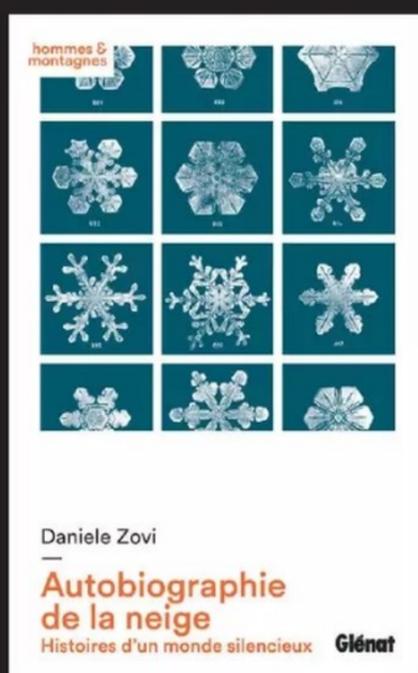
Pourquoi les ailes des papillons sont-elles souvent si colorées ? Certaines espèces présentes dans nos jardins ont-elles vraiment volé depuis l'Afrique ? Comment ces insectes peuvent-ils résister au froid ? Cet ouvrage richement illustré montre l'extraordinaire diversité des papillons et leur importance écologique. Ses auteurs, renommés en matière d'entomologie, collaborent notamment aux revues *Insectes* et *Espèces* de l'OPIE.

« *La vie des papillons d'Europe* »
par Denis Richard et Pierre-Olivier Maquart - Delachaux et Niestlé
2023 - 240 pages - 29,90€

DÉCOUVERTES



AUTOBIOGRAPHIE DE LA NEIGE



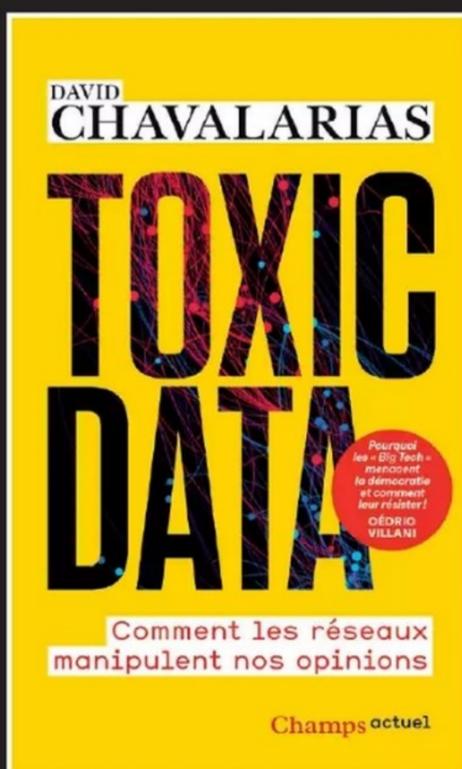
Dans cet ouvrage aussi instructif que beau, Daniele Zovi, vulgarisateur spécialiste des forêts et de la vie sauvage qui a notamment travaillé au ministère de l'Environnement italien, nous immerge dans un monde fantastique, fragile et silencieux qui disparaît petit à petit. De la forme des flocons aux avalanches en passant par les glaciers, l'auteur nous emmène sur le sentier enneigé de la connaissance scientifique au travers d'histoires personnelles, de légendes et d'études.

« *Autobiographie de la neige* »
par Daniele Zovi - Glénat - 2023
192 pages - 19,95€



TOXIC DATA

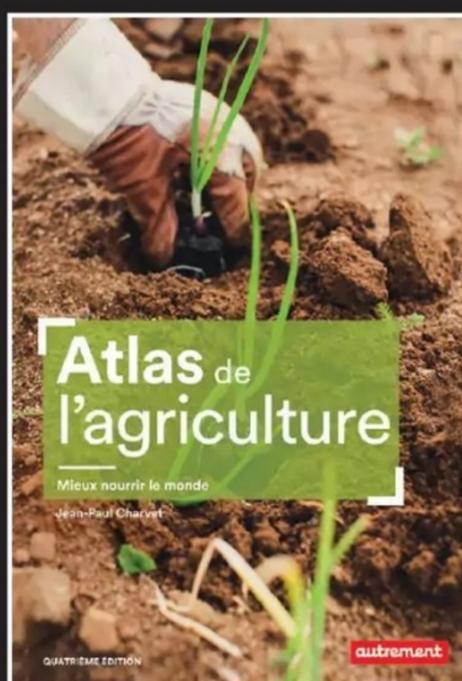
D'élection en élection, les réseaux sociaux nous manipulent et déchirent notre tissu social. Comment se prémunir de ces intoxications ? Directeur de recherche au CNRS et au CAMS, le mathématicien David Chavalarias dirige l'Institut des systèmes complexes de Paris Île-de-France. Il livre une analyse stupéfiante, révélant les effets et les limites de l'action des GAFAM dans notre quotidien, et il propose des pistes concrètes pour nous protéger et préserver nos démocraties.



« *Toxic Data* », par David Chavalarias
Flammarion - 2023 - 300 pages - 10€



ATLAS DE L'AGRICULTURE



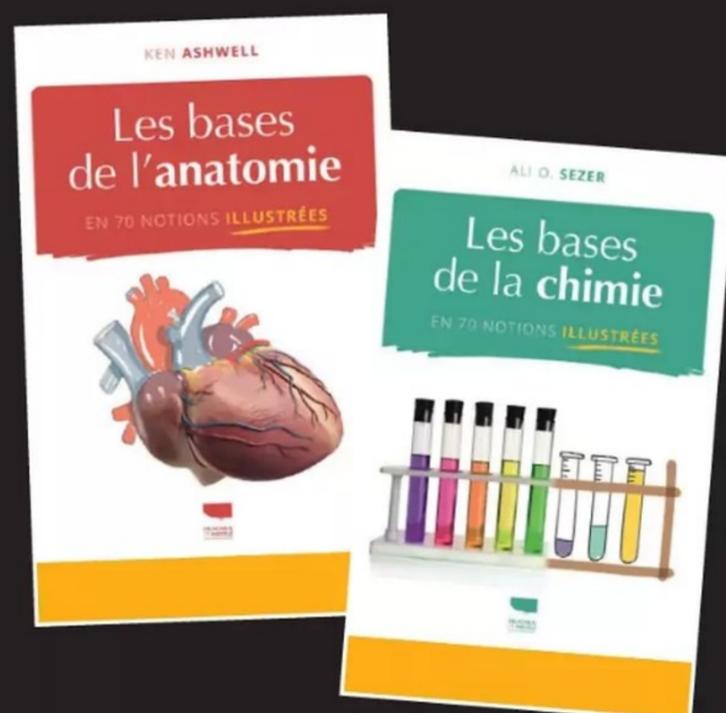
Comment se nourrir et nourrir le monde en 2050 ? Avec plus de 100 cartes et infographies (portant sur les défis de la mondialisation, la puissance des « poids lourds » de l'agriculture, les objectifs de développement

durable, le dérèglement climatique, l'avenir des exploitations familiales), cet atlas met en lumière les nouveaux enjeux écologiques et géopolitiques d'aujourd'hui et de demain.

« *Atlas de l'agriculture* »
par Jean-Paul Charvet - Autrement
2023 - 96 pages - 19,90€



LES BASES DE L'ANATOMIE ET LES BASES DE LA CHIMIE... EN 70 NOTIONS ILLUSTRÉES



Ces deux ouvrages rédigés, le premier par un médecin professeur d'anatomie, le second par un professeur de chimie, permettent de se familiariser avec l'anatomie du corps humain et les concepts importants de la chimie moderne. De nombreux dessins et schémas viennent en appui des textes. Pour savoir l'essentiel sur l'univers fascinant du corps humain ou sur le rôle fondamental de la chimie dans notre vie quotidienne.

« *Les bases de l'anatomie* »
par Ken Ashwell - « *Les bases de la chimie* » par Ali O. Sezer - Delachaux et Niestlé - 2023 - 192 pages - 21,90€

Science magazine donne la parole aux passionnés de science...

Parmi les nombreuses utilisations des drones, j'ai entendu dire qu'il était question d'employer ces engins pour acheminer des défibrillateurs auprès des victimes d'accidents cardiaques. Est-ce déjà effectif ?

Richard N., Aubenas (07)

Science magazine : Absolument. En décembre 2021 eut lieu une première mondiale : un drone autonome a sauvé la vie d'un patient de 71 ans en arrêt cardiaque en livrant un défibrillateur en 3 minutes. Cela s'est déroulé en Suède grâce à la société Everdrone, un leader mondial en matière de drones autonomes. Ce service n'en est qu'à ses débuts (des vols d'essai doivent avoir lieu, également une évaluation de la rapidité selon le cas par rapport aux ambulances), mais il doit s'étendre à d'autres régions en Europe.

Puisque l'Univers contient de la matière, pourquoi n'entend-on aucun son dans l'espace ?

Catherine G., Nice (06)

Science magazine : Les ondes sonores ont en effet besoin d'un support pour se propager : le son est la vibration des molécules que rencontre l'onde acoustique et elle se diffuse comme des cercles à la surface de l'eau. La vitesse du son dans l'air est de 343 m/seconde, alors qu'elle est de 1500 m/seconde dans l'eau où la densité de matière est plus importante. L'espace n'est effectivement pas vide, mais il contient trop peu de matière (moins d'un atome par cm^3) pour permettre la propagation des ondes sonores.

Comment se fait-il que certains de nous aient-ils le vertige et d'autres pas ? Pourquoi, par exemple, des ouvriers amérindiens parviennent-ils à circuler sur des poutres à des dizaines de mètres de hauteur sans le moindre frisson ?

Renaud M., Fontenay-le-Comte (85)

Science magazine : On sait que notre perception de l'environnement provient de la vision, du système vestibulaire (situé dans l'oreille interne), et de la proprioception ; cette dernière



est assurée par les capteurs mécaniques du tronc et des membres inférieurs situés à l'intérieur soit des tendons, soit des ligaments, soit des articulations, et c'est leur étirement qui va renseigner le cerveau sur la position du corps.

Quand les repères visuels s'éloignent, une compensation doit s'effectuer par les informations d'ordre proprioceptifs et vestibulaires pour pouvoir conserver l'équilibre du corps. Cette compensation ne se produit pas suffisamment chez les acrophobes (c'est-à-dire les personnes ayant une peur panique des hauteurs).

Car, bien entendu, la peur s'y ajoute souvent. Aussi, lorsque l'on prétend que certains Amérindiens n'ont pas le vertige, c'est simplement parce qu'ils savent mieux le gérer !

Qui choisit donc les noms des catastrophes climatiques (ouragans, tempêtes, cyclones...) ? À une époque, on entendait beaucoup de pré-noms féminins...

Mélissa E., La Boissière (34)

Science magazine : En Europe, c'est l'Institut de météorologie de l'Université de Berlin qui doit choisir ces noms. Au niveau mondial,

les noms des catastrophes sont piochés dans 6 listes alphabétiques de 21 prénoms établies par le Centre National des Ouragans aux Etats-Unis (la première tempête de l'année commence par un A, etc., et tous les 6 ans cela recommence...). Quant à la tradition de nommer les catastrophes avec des prénoms féminins, elle est heureusement terminée ! Pour des raisons de parité, les prénoms masculins et féminins alternent.

Votre dossier du Science magazine n°77 « Les vraies causes du changement climatique » donne une explication très claire sur le rôle des paramètres de Milankovitch dans le refroidissement et le réchauffement de la Terre. Cela montre encore une fois combien le réchauffement actuel, de par son extrême rapidité notamment, n'a rien à voir avec les phénomènes naturels.

Damien T., Houilles (78))

Science magazine : S'il fallait encore le démontrer, c'est chose faite...

**L'HOMME
MODERNE**

OBJETS ORIGINAUX DU MONDE

OFFRE DE BIENVENUE



12,80€
au lieu de ~~42,90€~~

**les 2 POLOS
Climsoft**

+ 2€ DE FRAIS DE PORT

-70%

VOS GARANTIES

- Satisfait ou remboursé
- 30 jours pour changer d'avis
- Expédition sous 6 jours



100 % Microfibre polyester
2 coloris : 1 turquoise + 1 marine
Disponibles en 2 tailles

RECEVEZ VOS 2 POLOS AVEC LE CODE PRIVILÈGE : **H4324**

0 892 680 165

Service 0.40€/min
+ prix appel

7j/7 de 8h à 20h

lhomme moderne.fr/polosclimsoft223

Indiquez le code **H4324** dans votre panier

✉ À retourner sous enveloppe affranchie à : **L'Homme Moderne - BP 10884 - 27008 Evreux Cedex**

H4324 - P4047

**OUI, je profite de votre offre de bienvenue et je reçois mes
2 POLOS CLIMSOFT**, de même taille, pour 12,80€ au lieu de ~~42,90€~~.

Les frais de port sont de 2€ au lieu de ~~8,95€~~.

Je choisis ma taille : **M/L** (0254211) ou **XL/2XL** (0254212)

Ci-joint mon règlement total de 14,80€ seulement par :

Chèque à l'ordre de **L'HOMME MODERNE**

Carte bancaire (Carte Bleue, Visa, Eurocard-Mastercard)

N°: _____

Date de validité : _____ Cryptogramme au dos de ma carte : _____ (indispensable)

Cette offre ne m'engage à rien d'autre. Valable pour la France métropolitaine et Monaco, dans la limite des stocks disponibles, offre valable 1 mois. Expédition sous 6 jours. Les 2 polos CLIMSOFT sont de même taille et ne peuvent être vendus séparément. Prix unitaire d'un polo : 21,45 €.

Conformément à la loi «informatique et libertés» et au Règlement européen du 27 avril 2016, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres entreprises. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire à L'Homme Moderne - Service clientèle - 94971 Créteil Cedex 9, en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et numéro de client. Vos données peuvent être communiquées à un tiers concerné dans le cadre d'un changement de contrôle, de fusion, de cession de fonds de commerce ou d'apport partiel d'actifs de Reder SAS.

Mme/M. : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Pour mieux vous servir

Téléphone : _____ Date de naissance : _____

E-mail : _____

Date : / / Signature obligatoire : _____

LE CHANVRE

le cannabis

Du rêve aux mille utilités...

19
euros

LES SOLUTIONS ÉCOLOGIQUES À LA CRISE...

✦ CARBURANT : 10 000 litres de méthanol par hectare en 2 récoltes.

✦ Le chanvre produit 4 fois plus de PAPIER que le bois en 4 mois, éviterait la déforestation (75% de la production papetière mondiale en 1883).

✦ Meilleur matériau pour l'ISOLATION et la CONSTRUCTION, solution à la pénurie de sable.

✦ Meilleur TEXTILE bio, nécessitant 11 fois moins d'eau que le coton et beaucoup plus résistant.

✦ Meilleur producteur de plastique de cellulose biodégradable, sans pollution.

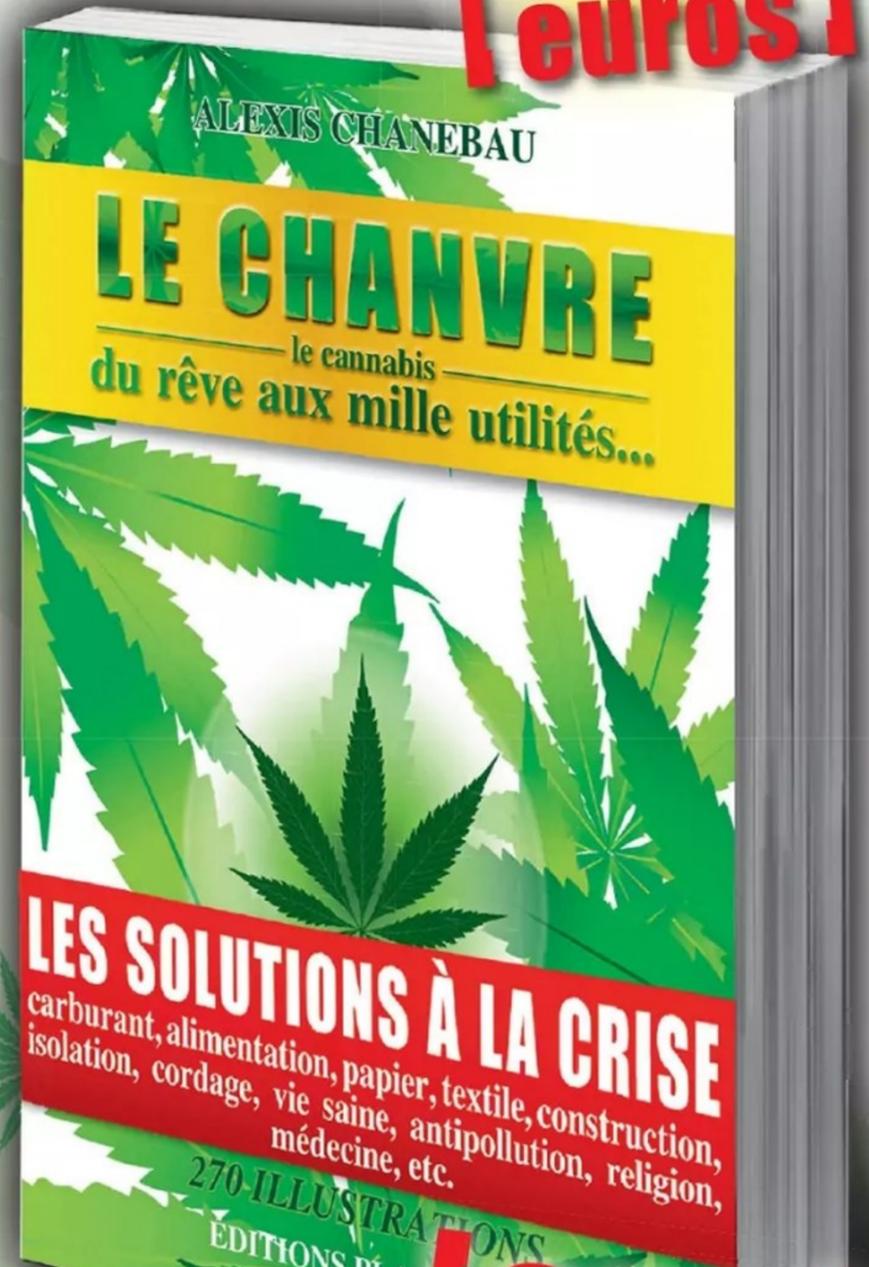
✦ Meilleur ALIMENT nutritionnel : la graine du chanvre (protéine végétale).

✦ Plante maîtresse pour PURIFIER les sols pollués ou irradiés.

✦ Panacée de la MÉDECINE naturelle, traite de nombreuses maladies : Alzheimer, asthme, Parkinson, cancers, sclérose, glaucome, diabète, etc.

✦ Champion du monde du captage de CO₂.

✦ Aucun PESTICIDE, INSECTICIDE ou FONGICIDE pour la culture du chanvre.



[270]
illustrations

COUPON À DÉCOUPER ET ENVOYER REMPLI À :

Lafont Presse,
53, rue du chemin vert,
92300 BOULOGNE BILLANCOURT.

Pour recevoir votre exemplaire du livre à **19 euros**
"LE CHANVRE (le cannabis) du rêve aux mille utilités.."

Joignez un chèque de 23 euros^{TTC} frais de port compris
à l'ordre de **Entreprendre**.

VOS COORDONNÉES :

Mme/M.....
.....
N°..... Voie.....
Code postal.....
Ville.....
Courriel.....