

ADN, INTELLIGENCE ARTIFICIELLE...

LES DÉCOUVERTES DE LA THÉRAPIE GENIQUE

Va-t-on tout soigner ?

Maladies
génétiques
AVC
Alzheimer
Cancers
Infarctus
Parkinson...

GRAVITATION
Les pôles de la Terre
en voie d'inversion

MICROBIOTE
Le fonctionnement
de notre second
cerveau

L 12580 - 63 - F: 5,90 € - RD



www.lafontpresse.fr

**Lafont
presse**

N°63 - Trimestriel - Août/Septembre/Octobre 2019 - BEL: 6,10 € - DOM/S: 6,60 € - LUX: 6,50 € - CH: 9,30 FS - CAN: 9,99 \$ cad - ESP/ITA/GR/PORT/CONT: 6,50 € - D/A: 6,90 € - NCA/S: 8,00 € - POL/S: 9,00 € - MAR: 66 mad - TUN: 7,5 ind

NOUVEAU

EXCLUSIF

LES ÉNIGMES
DE L'HISTOIRE
DU MONDE
par Jean-Christian
PETITFILS



Vendée 1793-1796

LES CRIMES DE LA REVOLUTION

Du génocide au mémoricide

Entretiens avec
Reynald Secher
Michel Chamard
Jean-Joël Brégeon
Jacques Villemain

Les noyades de Nantes, en
1793 et 1794 : des milliers
de personnes meurent
dans la Loire sur ordre de
Jean-Baptiste Carrier.

TERREUR
la machine à tuer
par Patrice
Gueniffey

Ils ont fait
et défit le
SECOND EMPIRE
avec Éric Anceau

EMPIRE ROMAIN
Lucullus, un
gourmand ?
par Yann Le Bohec

**Lafont
presse**

N°5 - Trimestriel - Juin - Juillet - Août 2019 - BEL: 9,20€

**Lafont
presse**

c'est positif !

En kiosques ou sur lafontpresse.fr



La revue de la **SCIENCE** N°16

Découverte
**COMMENT
SOMMES-NOUS
DEVENUS DES
HUMAINS ?**

**AUX ORIGINES
DE LA VIE...**

LE MONDE SERAIT QUANTIQUE !

**Les révélations des
physiciens sur l'ADN
et les enzymes.
Les molécules sont
partout dans
l'espace.**

**AVC
DE NOUVEAUX
TRAITEMENTS**

**Les traces
d'une vie
extra-terrestre**

Conscient & inconscient

On découvre les molécules des souvenirs



N°16 - Trimestriel - Mai/Juin/Juillet 2019 - BEL: 7,30 €

www.lafontpresse.fr



**Lafont
presse**

c'est positif !

En kiosques ou sur lafontpresse.fr





INVERSION DES PÔLES : QUELS SONT LES DANGERS POUR L'HOMME ?

Notre planète est un gigantesque aimant, conséquence des mouvements de son noyau métallique en fusion. Cette intense agitation provoque une évolution régulière de la position des pôles magnétiques. Parfois même ils s'inversent...

Ce phénomène fascinant et relativement mystérieux a eu lieu environ tous les 200 000 à 300 000 ans au cours des derniers 20 millions d'années. On l'observe grâce aux empreintes magnétiques incrustées dans des roches anciennes : les laves pendant leur refroidissement, les sédiments sous-marins pendant leur dépôt, et également les glaces polaires. Mais cela fait 780 000 ans qu'il ne s'est pas produit !

Quand aura donc lieu la prochaine inversion ? Depuis un demi-siècle, les scientifiques s'interrogent car la vitesse de déplacement du pôle Nord magnétique s'est considérablement accélérée, tandis que l'intensité du champ magnétique terrestre diminue. Ce sont possiblement des signes annonciateurs.

Doit-on s'en inquiéter ? Sur Internet, il est facile d'effrayer le grand public avec des scénarios catastrophes : cela va du changement du sens de rotation de la Terre à l'extinction massive des espèces, en passant par des événements climatiques

extrêmes (séismes et tsunamis). Cependant, par le passé, les inversions recensées n'ont en aucun cas laissé la trace de tels cataclysmes. Non, la vie n'a pas disparu suite aux inversions des pôles magnétiques.

Mais qu'en sera-t-il de notre civilisation technologique ? Le champ magnétique terrestre agit comme un immense bouclier face aux flux de rayonnement à haute énergie en provenance de l'univers. C'est-à-dire les particules du vent solaire et des rayons cosmiques. Son affaiblissement affecterait nos satellites, nos systèmes de communication, nos réseaux électriques... Sans compter la plus forte dose de radiations reçue dans notre corps. En fait, le seul intérêt pour les humains serait d'admirer, au cours de la période d'affolement des pôles, des aurores boréales sous toutes les latitudes...

Un tel phénomène à l'échelle d'une planète prend cependant du temps : un millier d'années en moyenne. Ce n'est donc pas encore demain que, sur une boussole, le Nord pointera vers l'Antarctique !

Participez à SAUV Life, l'application pour sauver des vies



Créée par le SAMU de Paris, SAUV Life permet de déclencher l'intervention de citoyens-sauveteurs volontaires auprès des victimes d'arrêts cardiaques. Ce nouvel outil vise à initier le plus rapidement possible les gestes de survie avant même l'arrivée des secours, dans cette situation où chaque minute compte.

L'arrêt cardiaque tue 50 000 personnes par an en France. La survie diminue de 10% chaque minute passée sans massage cardiaque, alors que les secours interviennent en moyenne au bout de 13 minutes. Une intervention immédiate d'un citoyen permet de raccourcir les délais et contribue à sauver des vies.

En mettant la technologie au service de l'humain, l'application SAUV Life s'appuie sur deux notions essentielles : l'entraide et la solidarité. Son principe ? L'application géolocalise en temps réel des citoyens volontaires mobilisables évoluant non loin de la victime avant l'arrivée des secours dépêchés par les médecins régulateurs du SAMU. En réalisant les premiers gestes d'urgence, ces citoyens sauveteurs vont gagner les précieuses minutes qui vont augmenter les chances de survie de la victime.

Formé ou non, professionnel de santé ou non, chaque citoyen peut agir à son niveau en téléchargeant cette application gratuite. Il

devient alors un sauveteur potentiel en cas d'arrêt cardiaque. L'objectif est de gagner du temps pour sauver des vies en améliorant la chaîne de survie et le pronostic extrêmement sombre de l'arrêt cardiaque.

Comment ça marche ? Lorsque le SAMU reçoit un appel d'urgence (au numéro d'appel 15) pour un arrêt cardiaque, l'équipe de régulation médicale du SAMU envoie d'une part les équipes médicales du SMUR et des services de secours pompiers sur place, et d'autre part déclenche l'application. Celle-ci géolocalise les citoyens volontaires appartenant à la communauté qui sont à moins de 10 minutes à pied du lieu de l'urgence cardiaque. Elle leur notifie l'urgence par SMS et les dirige vers la victime, si le volontaire est disponible pour porter secours.

Une fois sur place, le ou les volontaires sont guidés à la fois par l'application et par le SAMU, qui donne les instructions sur la pratique des gestes qui sauvent.

Les citoyens sauveteurs effectuent les gestes de survie jusqu'à l'arrivée des secours qui prennent ensuite le relais auprès de la victime.

L'application est déjà déployée dans plusieurs SAMU en France. Elle est disponible gratuitement sur les plateformes de téléchargement Google Play et App Store.

Le cerveau comme il n'avait jamais été vu !

Mise au point par des chercheurs de l'École polytechnique, du CNRS, de l'Inserm et de Sorbonne Université regroupés au sein du Laboratoire d'optique et biosciences (LOB) et de l'Institut de la Vision, ChroMS est une nouvelle technique de microscopie associant couleur, 3D et haute résolution. Il introduit une véritable révolution dans l'imagerie du cerveau.

En matière d'imagerie du cerveau des vertébrés, l'écueil que rencontraient jusqu'à présent les chercheurs était de devoir choisir entre résolution et volume. Soit on obtenait de la très haute résolution avec la microscopie électronique tridimensionnelle, mais sur un volume beaucoup trop faible pour retracer un circuit neuronal complet, soit on obtenait une image entière du cerveau, mais cette fois

à une résolution bien trop large pour saisir les détails.

Le principal bénéfice de l'approche d'imagerie ChroMS (pour *Chromatic Multiphoton Serial imaging*), c'est d'offrir une véritable visite virtuelle à haute résolution (à l'échelle de la cellule) de certaines parties du cerveau essentielles pour comprendre le

Collision de galaxies !



© ESA/Hubble & NASA, A. Adamo et al.

Dans la constellation d'Hercule, à 230 millions d'années-lumière de nous, NGC 6052 (observée ici par le télescope spatial Hubble) est une paire de galaxies en cours de collision. Les étoiles suivent maintenant de nouvelles trajectoires du fait des effets gravitationnels. Cependant il est rare qu'il se produise des collisions d'étoiles, leurs distances respectives étant trop importantes (la majeure partie d'une galaxie est un espace vide). On peut supposer que, lorsque la fusion sera faite, une unique galaxie en résultera et l'ensemble se stabilisera.

Notre galaxie, la Voie lactée, connaîtra elle aussi une collision dans le futur avec notre proche voisine, la galaxie d'Andromède. Mais cela ne devrait pas se produire avant 4 milliards d'années !



développement des circuits neuronaux. Si la visite est virtuelle, les données sont bien réelles. Les chercheurs ont travaillé sur des cerveaux dans les neurones desquels ont été introduits des marqueurs fluorescents issus de méduses ou de coraux, qui, une fois stimulés par un laser infrarouge, permettent d'obtenir la couleur. « L'instrument est idéal pour reconstruire en 3D avec une très grande précision des régions du cerveau, de quelques

millimètres-cubes de volume, ce qui est une première avec cette qualité d'images, et qui constitue l'échelle pertinente par rapport à ce que nous voulons observer » explique Emmanuel Beaurepaire, du Laboratoire d'optique et biosciences. « Nous pouvons aussi reconstituer un cerveau entier, avec une moindre précision dans la version actuelle de notre instrument ».

« Nous nous intéressons plus particulièrement au lignage cellulaire » précise Jean Livet, de l'Institut de la vision, « c'est-à-dire la façon dont se développe le cerveau à partir de cellules souches neurales : quelles sont les cellules filles issues d'une cellule souche donnée, comment une mutation de la cellule souche a pu influencer sur leur développement, comment les groupes de cellules générées par différentes cellules souches s'agencent les uns par rapport aux autres. C'est toute cette histoire d'une région du cerveau, codée dans la couleur, que nous révèlent les images grand volume de ChroMS ».

En ligne de mire, la capacité de répondre à des questions qui se posent depuis longtemps en neurosciences, comme celle de savoir si les neurones issus d'une même cellule souche se connectent de façon préférentielle entre eux pour remplir une fonctionnalité donnée, ou si des pathologies comme l'épilepsie peuvent être reliées à des problèmes localisés affectant certaines cellules souches neurales.

Si la technique ChroMS est particulièrement adaptée à l'étude d'un organe aussi complexe que le cerveau, elle peut être mise à profit sur tous les organes et devrait s'avérer être un outil très efficace pour les études portant sur l'embryogénèse.

L'Univers cartographié sur un milliard d'années-lumière !

Une équipe internationale, impliquant l'Université Claude Bernard Lyon 1 et le CNRS, a dévoilé la plus grande cartographie de l'Univers. Elle montre les mouvements de la matière noire, dans un rayon d'un milliard d'années-lumière autour de nous, soit un volume 10 fois plus grand qu'auparavant.

Voilà cinq ans, notre supercontinent de galaxies, appelé *Laniakea*, était révélé grâce à l'étude des mouvements de galaxies : les flux cosmiques*. Ainsi notre Univers proche

était-il cartographié de manière précise mais surtout dynamique. Depuis cette découverte, l'exploration de notre environnement immédiat cosmique était en panne de percée, impossible de voir au-delà de *Laniakea*.

En effet, plus les galaxies sont distantes, plus les erreurs des mesures tendent à empêcher les astrophysiciens de retrouver précisément les positions des galaxies dans l'Univers. Or, sans cartographie précise, il n'est pas possible de calculer les grands flux cosmiques cohérents ni de comprendre les grandes

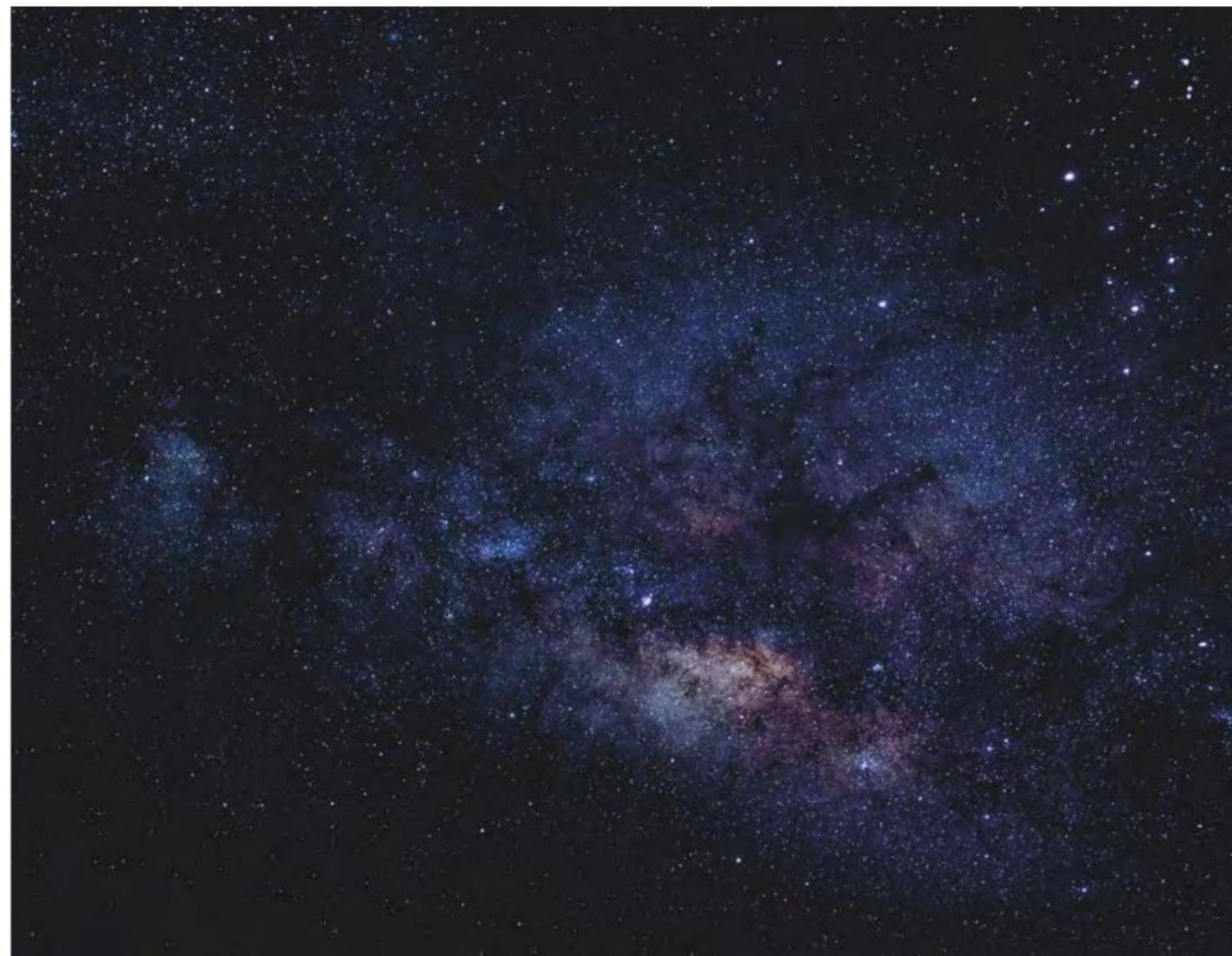
régions de matière noire qui engendrent ces mouvements.

Rappelons que les galaxies tournent très vite sur elles-mêmes. Si elles ne contenaient que la matière observable, elles devraient se disloquer, d'après la loi Naturelle de la Gravitation (dont la nature ondulatoire prédite par Einstein a été enfin découverte en 2017). Si le fameux $E=mc^2$ est vrai, alors la structure des galaxies ne peut être maintenue que si une matière supplémentaire invisible les compose : la matière noire.

La compréhension de cette matière invisible est l'une des deux grandes questions à élucider au 21^e siècle pour les cosmologues. L'autre question brûlante concerne l'expansion de l'espace : la distance entre les galaxies ne cesse d'augmenter, et ce de plus en plus vite. Pour quelle raison ? Une mystérieuse énergie sombre pourrait l'expliquer.

Dans l'objectif de fournir une carte de l'Univers toujours plus précise et d'apporter des éléments de réponse à ces deux grandes énigmes, l'équipe d'astrophysiciens, emmenée par Hélène Courtois, chercheuse Université Lyon 1 à l'Institut de physique nucléaire de Lyon (IPNL, Université Lyon 1/CNRS), observe chaque année davantage de galaxies grâce aux télescopes géants en Australie, aux USA, en France, etc. Avec, au commencement du projet, seulement 2 000 galaxies observées en 2008, puis 8 000 en 2014, ce chiffre s'élevait à 18 000 en 2016 et continue encore d'augmenter. Bien que ces données soient publiquement distribuées à toutes les autres équipes en compétition mondiale, au bout de trois ans aucun consortium ne réussissait encore à calculer la cohérence des mouvements des grands continents de galaxies.

Un jeune doctorant lyonnais a alors lancé l'idée de modéliser les données en amont plutôt que de les analyser a posteriori, et répéter l'analyse des milliers de fois afin d'explorer



toutes les erreurs systématiques qui faussent les mesures. Une nouvelle méthodologie made in France est née. Elle nous donne à contempler des cartes de 1/45^e de l'Univers observable ! Les nouveaux continents découverts tels qu'*Apus*, *Pisces-Cetus*, *Telescopium*, *Lepus*, *Shapley*, *Hercules*, rejoignent

la liste du seul continent précédemment cartographié, *Laniakea*.

Les lecteurs peuvent explorer leur univers en zoomant et tournoyant dans la carte interactive disponible ici: <https://sketchfab.com/models/914b839927af403080b14eb75c1eff7e>

Détecter Alzheimer très précocément grâce à un jeu vidéo

Comment se fait-il que je me perde tout le temps alors que mon ami jamais ? Plus généralement, pourquoi le sens de l'orientation varie-t-il tant au sein de la population ? Est-ce lié à des caractéristiques innées, génétiques, ou bien modulé par des facteurs culturels ?

Pour répondre à ces questions, Antoine Coutrot, chercheur du CNRS au Laboratoire des sciences du numérique à Nantes (CNRS/Ecole centrale de Nantes/Université de Nantes/IMT Atlantique), et ses collègues anglais de l'University College London et de l'University of East Anglia, ont développé

un jeu vidéo, *Sea Hero Quest*, qui a jusqu'à présent rassemblé 4 millions de joueurs. Les stratégies mises en place pour réussir les différentes quêtes proposées par le jeu représentent aujourd'hui l'équivalent de 10 000 ans de données recueillies en laboratoires par des moyens expérimentaux traditionnels.

* Par analogie, comme l'étude de la tectonique des plaques permet de remonter aux propriétés des profondeurs de la Terre, il s'agit, grâce aux mouvements d'ensemble des galaxies, d'étudier et de cartographier les forces qui dominent notre Univers : la matière noire et l'énergie noire.



tous âges, dans le monde réel et dans le monde virtuel, à Paris et à Londres. Leurs résultats valident leur hypothèse : les performances d'orientation virtuelle et dans le monde réel sont fortement corrélées.

Une fois établi l'intérêt du jeu vidéo pour l'évaluation de capacités d'orientation, les scientifiques ont ensuite comparé les performances de joueurs de Sea Hero Quest à celles de personnes non démentes mais ayant une plus grande probabilité de développer la maladie d'Alzheimer car porteurs de l'allèle 4 du gène APOE*. Pour ces derniers, testés en laboratoire, les scores à des questionnaires neuropsychologiques classiques sont normaux. Cependant, la comparaison de leurs performances à celles de joueurs de Sea Hero Quest de même âge, sexe et pays, a mis en évidence des changements dans les habitudes de navigation avant même l'apparition des symptômes cliniques de la maladie d'Alzheimer.

Ces résultats démontrent pour la première fois comment l'évaluation cognitive numérique à grande échelle pourrait être prometteuse pour la détection précoce de la maladie d'Alzheimer. Et combien elle pourrait aider au dépistage personnalisé de cette maladie chez des individus n'ayant pas encore de symptômes cliniques.

Mais comment être certain que la réussite des joueurs dépend bien de leur capacité à s'orienter dans l'espace et non de leur habileté à utiliser un téléphone portable ou de leur habitude

à jouer aux jeux vidéo ? Pour confirmer leur hypothèse de départ, les chercheurs ont d'abord comparé les performances d'orientation de volontaires, hommes et femmes de

Nos progrès technologiques résultent-ils de notre intelligence ?

Si nous admirons à juste titre les évolutions technologiques conçues par les civilisations humaines, nous savons que peu d'entre nous sont capables de telles inventions. Nous savons juste nous en servir sans forcément les comprendre...

On pense souvent que l'être humain a pu parvenir à produire des outils complexes et s'adapter à différents milieux grâce à son imposant cerveau, qui le rendrait plus

ingénieux et inventif que d'autres espèces. Pourtant, l'efficacité de technologies telles que l'arc ou le kayak dépend de nombreux paramètres qu'il est encore aujourd'hui difficile de comprendre et de modéliser, même pour des physiciens.

Pour cette raison, certains anthropologues ont suggéré que ces technologies résultent non pas de nos capacités de raisonnement mais de notre propension à copier les autres membres

de notre groupe : de petites améliorations seraient sélectionnées successivement, conduisant à l'émergence de technologies efficaces et pourtant incomprises des individus.

Une équipe internationale comprenant des chercheurs de l'Université catholique de Lille et du CNRS, avec le soutien de TSE (Toulouse School of Economics) de l'Université Toulouse 1 Capitole, a voulu tester cette théorie en laboratoire. Pour cela, les scientifiques

*25% de la population sont porteurs de cet allèle et ils ont 4 fois plus de risque de développer la maladie d'Alzheimer.



Tandis que la roue gagnait en vélocité au cours des « générations », la compréhension des individus est restée médiocre. En d'autres termes, il n'y avait aucun lien entre la performance de la roue et le niveau de compréhension des participants ! Chaque individu avait produit des configurations plus ou moins aléatoires et c'est la combinaison entre ces essais-erreurs individuels et la copie des configurations les plus rapides qui avait suffi à optimiser la roue.

Dans une seconde version de l'expérience, les participants transmettaient à l'individu suivant, en plus de leurs deux derniers essais, un texte décrivant leur théorie sur l'efficacité de la roue. Les résultats furent similaires : les roues gagnaient en vitesse mais, là encore, sans que les individus comprennent pourquoi. La transmission de théories fausses ou incomplètes pouvait même empêcher les générations suivantes de développer une compréhension correcte du système, les rendant comme aveugles à une partie du problème.

Cette expérience illustre l'importance des processus culturels dans l'apparition d'outils complexes : notre aptitude à copier les autres individus permet l'émergence de technologies que nul n'aurait su inventer de lui-même. Elle invite à se montrer prudent dans l'interprétation des vestiges archéologiques en termes de capacités cognitives, ces aptitudes n'étant pas le seul moteur de l'évolution technologique.

ont recruté des étudiants qui devaient optimiser une roue afin qu'elle parcoure le plus rapidement possible la distance d'un mètre sur des rails inclinés. Chacun avait cinq essais pour produire la configuration la plus efficace, avant de répondre à un questionnaire qui testait sa compréhension des mécanismes

physiques pouvant influencer la vitesse de la roue. Afin de simuler la succession des générations humaines, les chercheurs ont créé des chaînes de cinq individus : chacun avait accès, sur un écran d'ordinateur, à la configuration et à l'efficacité de la roue des deux derniers essais du participant précédent.

Première mondiale : un tremblement de terre martien

Fin 2018, l'atterrisseur de la NASA, InSight, déposait le sismomètre français du CNES, SEIS, sur la surface de Mars. Le 6 avril 2019, un signal sismique faible mais distinct a été détecté, semblable aux signaux sismiques captés à la surface de la Lune lors des missions Apollo.

L'événement « Sol 128 » (128^{ème} jour martien), détecté par SEIS, est le premier tremblement martien dont l'origine proviendrait

de l'intérieur de la planète - par opposition à un mouvement causé par le vent - bien que les scientifiques n'en soient toujours pas entièrement sûrs. L'événement sismique est trop faible pour fournir des données utiles sur l'intérieur de Mars, l'un des objectifs principaux de la mission. Un tel tremblement n'aurait pas été détectable sur Terre mais la surface martienne, extrêmement stable, a permis aux capteurs très sensibles du sismomètre de capter ce faible signal.

Plusieurs caractéristiques de « Sol 128 » correspondent au profil des séismes détectés à la surface lunaire. Les astronautes de la NASA ont mesuré des milliers de séismes en explorant la Lune entre 1969 et 1972, révélant que celle-ci était toujours géologiquement active. La réflexion des ondes sismiques ou la modification de leur vitesse de propagation en fonction des matériaux traversés ont donné aux scientifiques des informations sur la structure interne de la Lune, ainsi que la



taille de son noyau. Ceci a permis de mieux appréhender le processus d'impact entre la Terre et la proto-Lune, ainsi que la formation de notre satellite à partir des débris mis en orbite. Avec le sismomètre SEIS, des données similaires pourront être collectées sur Mars ; elles permettront de mieux comprendre la formation d'une telle planète tellurique.

« Les premières données relevées par InSight permettent de poursuivre les avancées scientifiques qui ont démarré avec les missions Apollo », note Bruce Banerdt, responsable scientifique de la mission InSight, au Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA basé à Pasadena, en Californie. « Jusqu'à présent, nous avons collecté des bruits de fond, mais

ce premier séisme marque la naissance officielle d'une nouvelle discipline : la sismologie martienne. »

Trois autres signaux, qui pourraient également être d'origine sismique, ont été détectés le 14 mars, le 10 avril et le 11 avril. L'interprétation de ces signaux est encore ambiguë pour l'équipe InSight, mais pour au moins deux d'entre eux, ils ne semblent pas être dus à l'effet du vent ni à d'autres sources de bruit parasite. En pratique, ces signaux sont bien plus faibles que le premier, et ont seulement été détectés par les senseurs VBB ultrasensibles de l'instrument SEIS. L'équipe travaille d'arrache-pied pour préciser l'origine de ces nouveaux signaux.

Philippe Lognonné, Professeur à l'Université Paris Diderot et géophysicien à l'IPGP (Institut de physique du globe de Paris), assume la responsabilité scientifique de SEIS en association avec des équipes du CNRS. « Nous avons attendu notre premier séisme martien pendant des mois », explique-t-il. « C'est formidable d'avoir enfin le signe qu'il existe encore une activité sismique sur Mars ».

Mars ne comporte pas de plaques tectoniques, qui sont à l'origine de la plupart des séismes sur la Terre. Mais les deux planètes ainsi que la Lune partagent un autre type de séisme, provoqué par des failles ou des fractures dans leur croûte. Lorsque celle-ci subit des contraintes trop importantes dues au poids ou à son lent refroidissement, elle se rompt et libère de l'énergie.

La détection de ces séismes représente un véritable exploit technologique. Sur notre planète, des sismomètres ultraperformants sont souvent placés sous terre pour être protégés des variations de température et des intempéries. Mais le sismomètre SEIS ne peut pas être enterré sur Mars ; plusieurs dispositifs ingénieux ont donc été mis en place pour le protéger des variations de température, extrêmement importantes sur Mars, et des autres sources de bruit. Un bouclier protecteur permet d'atténuer le bruit environnemental en protégeant SEIS du vent, de la poussière et des variations de température. En conséquence, à ce jour, la sensibilité de SEIS dépasse toutes les attentes de l'équipe.

130 ans après les débuts de la sismologie instrumentale sur Terre et 50 ans après le premier sismomètre déployé par Apollo 11 en juillet 1969, Mars devient ainsi le troisième corps tellurique du système solaire étudié par les sismologues. « Dans les mois et années à venir » note Antoine Petit, Président du CNRS, « leurs études contribueront à mieux comprendre comment Mars s'est formée et pourquoi cette planète a vu son volcanisme disparaître, devenant le désert froid et sec d'aujourd'hui. »

Une Europe sans nuages



© contains modified Copernicus Sentinel data (2017), processed by Sinergise/ESA

Cette magnifique vue de notre continent, totalement dépourvu de nuages, résulte d'une mosaïque d'images prises par le satellite Sentinel-3A.

Les satellites Sentinel, du programme Copernicus de l'ESA, sont dédiés à l'observation de la Terre. Leur objectif est de comprendre les changements environnementaux à grande échelle. Les deux satellites jumeaux de la mission Sentinel-3, lancés en 2007 et 2018, surveillent plus particulièrement les océans (leur température, leur couleur, leur niveau ainsi que l'épaisseur des glaces de mer) et la végétation sur les terres émergées (notamment les incendies et le niveau des rivières et des lacs).

Une nouvelle espèce humaine...

En avril dernier était annoncée la découverte aux Philippines d'une nouvelle espèce d'homininé : *Homo luzonensis*. Retour sur cet événement exceptionnel...

Avant de conquérir la planète entière, *Homo sapiens* a cohabité avec d'autres espèces d'hommes. Par exemple, en Europe et au Moyen-Orient, avec Néandertal. Et la découverte de ces autres espèces se multiplie. Ainsi, au nord des Philippines, dans la grotte de Callao située sur l'île de Luzon, il y a 50 à 67 000 ans, vivait *Homo luzonensis*.

Cette espèce présente des éléments ou caractères très primitifs, ressemblant aux Australopithèques, et d'autres très modernes, proches de notre propre espèce *Homo sapiens*. Par exemple, les prémolaires sont dotées de 2 à 3 racines, alors que chez *Homo sapiens* il n'y en a qu'une et parfois deux. Par ce caractère et par la morphologie de l'émail et de la dentine, les prémolaires d'*Homo luzonensis* se rapprochent donc de celles des Australopithèques et espèces anciennes du genre *Homo*, telles *Homo habilis* et *Homo erectus*. En revanche, les molaires sont très petites et ont une morphologie très simple, plus proche de celles d'*Homo sapiens*. Un individu possédant ces caractéristiques combinées ne peut donc être classé dans aucune des espèces connues aujourd'hui.

D'autre part, si l'on observe les os des pieds, on constate notamment que la phalange proximale présente une courbure très marquée et des insertions très développées pour les muscles assurant la flexion du pied. Ces caractéristiques n'existent pas chez *Homo sapiens*. Cependant, cette phalange ressemble fortement à celles des Australopithèques, connus uniquement en Afrique et à des périodes bien plus anciennes (environ 2 à 3 millions d'années). Cette combinaison de caractères tout à fait singulière la différencie nettement des autres représentants du genre *Homo*, notamment les espèces contemporaines connues en Asie du Sud-Est, telles *Homo sapiens* et *Homo floresiensis*.

La découverte des restes (un assemblage d'os et de dents fossiles) d'au moins trois individus



différents a été faite par une équipe pluridisciplinaire internationale co-dirigée par Florent Détroit, impliquant le MNHN et le CNRS. Il s'agit des plus anciens restes humains connus aux Philippines, précédant les premiers *Homo sapiens* datés de 30 à 40 000 ans mis au jour sur l'île de Palawan, au sud-ouest de l'archipel.

Luzon est une île de grande taille qui n'a jamais été accessible à pieds secs pendant le Quaternaire. Sa faune et sa flore sont connues depuis longtemps pour leur fort taux d'endémisme, lié notamment à l'appauvrissement de leur diversité génétique et s'exprimant sous la forme d'espèces différant souvent fortement de leurs espèces sœurs restées sur le continent. La plus ancienne présence d'homininés connue sur l'île date de 700 000 ans. *Homo*

luzonensis représente vraisemblablement, aux Philippines, une espèce du genre *Homo* ayant évolué sous les effets de l'endémisme insulaire, un peu à la manière d'*Homo floresiensis* sur l'île de Flores en Indonésie. L'endémisme insulaire pourrait notamment être l'une des explications possibles pour la « réapparition » de caractéristiques primitives chez *Homo luzonensis*.

Son origine et les modalités de son arrivée sur l'île de Luzon restent pour l'instant mystérieuses. Toutefois, cette découverte souligne la diversité, la richesse et la complexité des migrations anciennes et de l'histoire évolutive des homininés dans les îles du Sud-Est asiatique.

Des navettes pour aller couper le génome

En 2012, l'invention des « ciseaux génétiques » CRISPR/Cas9 a apporté un formidable espoir pour la thérapie génique. Ces ciseaux moléculaires sont capables de couper l'ADN à un endroit précis dans une grande variété de cellules. Le défi technologique aujourd'hui est d'amener cet outil jusqu'au génome de certaines cellules...

C'est sur cette problématique que travaillent des équipes de recherche de l'Inserm, du CNRS, de l'Université Claude Bernard Lyon 1 et de l'École normale supérieure de Lyon, au sein du Centre international de recherche en infectiologie (CIRI). Ces chercheurs ont développé les Nanoblades, des particules qui permettent de délivrer CRISPR/Cas9 dans de nombreuses cellules, y compris des cellules humaines. Les scientifiques ont eu l'idée d'encapsuler le système CRISPR/Cas9 dans des structures ressemblant beaucoup à des virus et assurer ainsi sa livraison au sein d'une

cellule cible, en fusionnant avec la membrane de cette dernière.

Pour concevoir ces Nanoblades, les scientifiques ont exploité les propriétés de la protéine rétrovirale GAG, qui a la capacité de produire des particules virales non infectieuses car dénuées de génome. L'équipe de recherche a fusionné la protéine GAG d'un rétrovirus de souris avec la protéine CAS9 - le ciseau du système CRISPR. Cette nouvelle protéine dite « fusion » fait l'originalité des Nanoblades.

Par conséquent, et à l'inverse des techniques classiquement utilisées pour modifier le génome, les Nanoblades encapsulent un complexe CRISPR/Cas9 immédiatement fonctionnel ; elles ne délivrent donc aucun acide nucléique codant le système CRISPR/Cas9 dans les cellules traitées. « L'action de CRISPR/Cas9 dans les cellules est ainsi temporaire. Elle est également plus précise et

préserve les régions non ciblées du génome, atout particulièrement important dans le cadre d'applications thérapeutiques », précisent les chercheurs.

Enfin, les équipes ont utilisé une combinaison originale de deux protéines d'enveloppe virales à la surface des Nanoblades, pour leur permettre d'entrer dans une large gamme de cellules cibles.

Ils ont démontré l'efficacité des Nanoblades in vivo, dans l'embryon, pour un large spectre d'applications, et dans un large panel de cellules cibles où d'autres méthodes sont peu performantes. « Les Nanoblades s'avèrent notamment efficaces pour corriger le génome des cellules souches humaines, cellules d'un grand intérêt thérapeutique (notamment dans la reconstitution de tissus) mais restant difficiles à manipuler par les méthodes habituelles », précisent les auteurs de ces travaux.

Nous prononçons certains sons... grâce à notre alimentation

Depuis que l'homme est capable de parler, a-t-il toujours pu prononcer les mêmes sons qu'aujourd'hui ? Pas si sûr...

Selon une théorie, la diversité phonétique des langues humaines serait restée fixe depuis l'émergence de notre espèce il y a 300 000 ans. Aujourd'hui une équipe internationale dirigée par l'Université de Zurich, et comprenant un chercheur du laboratoire Dynamique du langage (CNRS/Université Lumière Lyon 2), déclare que certaines consonnes comme le [f] et le [v] sont des ajouts récents aux langues. Ces nouveautés auraient été rendues possibles par les modifications de notre mâchoire et de notre denture suite à la naissance de l'agriculture et l'adoption d'un régime contenant moins d'aliments durs.

La parole humaine utilise une palette incroyablement riche, avec près de 900 sons différents. Certaines langues n'utilisent qu'une



dizaine de ces sons, d'autres plus d'une centaine. En 1985, le linguiste Charles Hockett avait remarqué que les langues utilisant les consonnes labiodentales (produites avec la lèvre inférieure contre les dents supérieures), telles [f] et [v], sont souvent parlées dans des sociétés ayant accès à des aliments mous. L'équipe de chercheurs basés en Suisse, à Singapour, aux Pays-Bas et en France, plutôt sceptique, a souhaité examiner cette hypothèse avec les outils du 21^e siècle.

En utilisant des bases de données sur l'utilisation des labiodentales et le type de production alimentaire, elle a d'abord pu vérifier que cette corrélation existe bel et bien, et qu'elle est statistiquement significative. Chez des populations qui vivaient encore récemment comme des chasseurs-cueilleurs, par exemple au Groenland, en Afrique du Sud et en Australie, les sons [f] et [v] sont quasi-inexistants (à l'exception d'imports assez récents

d'autres langues comme le danois, l'afrikaans ou l'anglais).

Les scientifiques ont ensuite développé un modèle biomécanique afin de calculer la force musculaire nécessaire pour produire ces consonnes, chez des *Homo sapiens* du Paléolithique ou d'aujourd'hui. Jusqu'au début du Néolithique et la naissance de l'agriculture, le régime alimentaire de nos ancêtres chasseurs-cueilleurs nécessitait une forte mastication qui provoquait une érosion dentaire et une modification de la denture de sorte que leurs incisives se touchaient parfaitement bord-à-bord. Avec le développement de l'agriculture et de technologies comme la meule, les humains modernes ont conservé à l'âge adulte une occlusion dentaire de type juvénile, où les incisives supérieures sont décalées vers l'extérieur de la bouche, la mâchoire inférieure étant légèrement en retrait. Dans ces conditions, les consonnes labiodentales sont

prononcées plus facilement, nécessitant une moindre force musculaire.

Enfin, en reconstruisant l'histoire et la diffusion de ces sons dans la généalogie des langues indo-européennes, les chercheurs suggèrent qu'en Europe, l'utilisation de labiodentales n'a augmenté de manière spectaculaire qu'au cours des deux ou trois derniers millénaires, en lien avec l'essor des technologies de préparation des aliments.

Cette étude révèle donc que le langage peut être façonné par des changements biologiques induits culturellement. Elle ouvre la voie à d'autres recherches qui permettront aux linguistes de reconstituer les sons des langues parlées il y a des milliers d'années. Si César a probablement prononcé « *veni, vidi, vici* » plutôt que « *oueni, ouidi, ouici* », la prononciation d'autres langues plus anciennes et moins documentées est bien plus incertaine !

Une première mondiale : la vie curieuse d'un virus

Etonnamment, un virus pourrait faire des dégâts même si le gène viral n'est pas présent au sein de la cellule...

Les virus multipartites sont bien mal connus, alors qu'ils constituent près de 40% des genres et familles virales chez les plantes. Leur matériel génétique (ADN ou ARN) est constitué de plusieurs segments, chacun protégé dans une capsule protéique appelée capside. Les autres catégories de virus sont les virus monopartites comme la polio ou HIV ou Ebola (un seul brin dans une capside), et les virus segmentés comme celui de la grippe (plusieurs brins dans une seule capside).

Des chercheurs de l'Inra, du Cirad et du CNRS ont montré que les différents segments constitutifs du génome d'un virus multipartite peuvent exister dans des cellules distinctes de l'organisme cible, et travailler ensemble pour provoquer une infection. Les gènes viraux sont dispersés dans des cellules différentes mais « communiquent » et se complètent



au niveau intercellulaire pour assurer la fonctionnalité du système viral.

Ce résultat inédit va à l'encontre du paradigme fondateur en virologie, qui considère que le génome entier d'un virus pénètre et se réplique à l'intérieur d'une même cellule,

puis passe à une autre cellule où il se réplique à nouveau, et ainsi de suite pour développer l'infection. Ce mode de vie pluricellulaire viral très particulier, montré pour la première fois, pourrait exister pour d'autres systèmes viraux. Ces travaux ouvrent donc d'importantes perspectives de recherche en virologie.

Manger les morts pour survivre

Au fond de la Mer Morte, des bactéries sont devenues nécrophages pour survivre dans des conditions extrêmes.

L'étude de la matière organique dans les sédiments permet d'éclairer un passé lointain. Quel climat régnait ? Quels organismes peuplaient la Terre ? Dans quelles conditions vivaient-ils ? Des chercheurs de l'Université de Genève (UNIGE) et de l'Université de Lyon se sont intéressés aux sédiments de la Mer Morte, l'un des milieux les plus hostiles de la planète en raison de sa salinité sans égal. Ils étudient les bactéries et les archées, soit les formes les plus anciennes de vie sur Terre.

Une équipe internationale s'est attelée à reconstituer le climat de la Mer Morte lors des dernières 200 000 années. D'une surface et d'une profondeur à peu près équivalentes à celles du Lac Léman, cette mer perd pourtant un mètre par an, d'où sa salinité toujours plus élevée (275 grammes de sel par litre, contre 20 à 40 grammes par litre dans les océans). Une vie microbienne subsiste pourtant encore dans ce milieu extrême, isolé de la surface, sans lumière, sans apport de nourriture fréquent et sans oxygène. Pour trouver des pistes de présences microbiennes dans les sédiments, les scientifiques ont foré un trou de 400 mètres de profondeur pour 10 centimètres de diamètre au coeur de la Mer Morte et ont analysé des échantillons de sédiments pour chaque mètre creusé.

« Ceci nous permet d'identifier les organismes vivants ou ayant vécu dans le sédiment, et également de comprendre leur mode



© UNIGE Daniel Ariztegui

de survie dans de telles conditions », explique Daniel Ariztegui, professeur au Département des sciences de la terre de la Faculté des sciences de l'UNIGE.

D'anciennes recherches avaient démontré que les archées pouvaient être présentes dans les milieux les plus salins de la Mer Morte. « Mais ici, nous avons découvert des molécules nommées cires d'esters isopréniques, qui ne peuvent pas être produites par les archées, mais uniquement par des bactéries, à partir de fragments d'archées », s'enthousiasme Camille Thomas, chercheur au même département. Ceci prouve qu'une autre forme de vie que les archées s'est développée et est potentiellement toujours présente dans ces sédiments : des bactéries. « Les archées sont

capables de résister aux très fortes salinités de la Mer Morte. Jusqu'à présent, elles étaient les seules à avoir pu être identifiées dans les profondeurs de cette mer. Il se trouve qu'une autre population, cette fois-ci des bactéries, que l'on pensait moins bien adaptées, sont capables de surmonter ces conditions extrêmes en se nourrissant des cadavres des archées. » En devenant « nécrophages », ces bactéries ont ainsi pu s'acclimater à l'un des milieux les plus extrêmes de notre planète.

Cette étude aide à comprendre les mécanismes de formation de la vie et de la Terre, aussi hostiles que soient les conditions environnementales, et ouvre des pistes de recherche pour la découverte de la vie sur d'autres planètes.

Insuline et lumière : attention au traitement des diabétiques

Le dérèglement de nos horloges internes semble jouer un rôle non négligeable dans l'explosion des maladies métaboliques observée depuis quelques dizaines d'années, et notamment du diabète. En effet, si l'importance de l'alternance

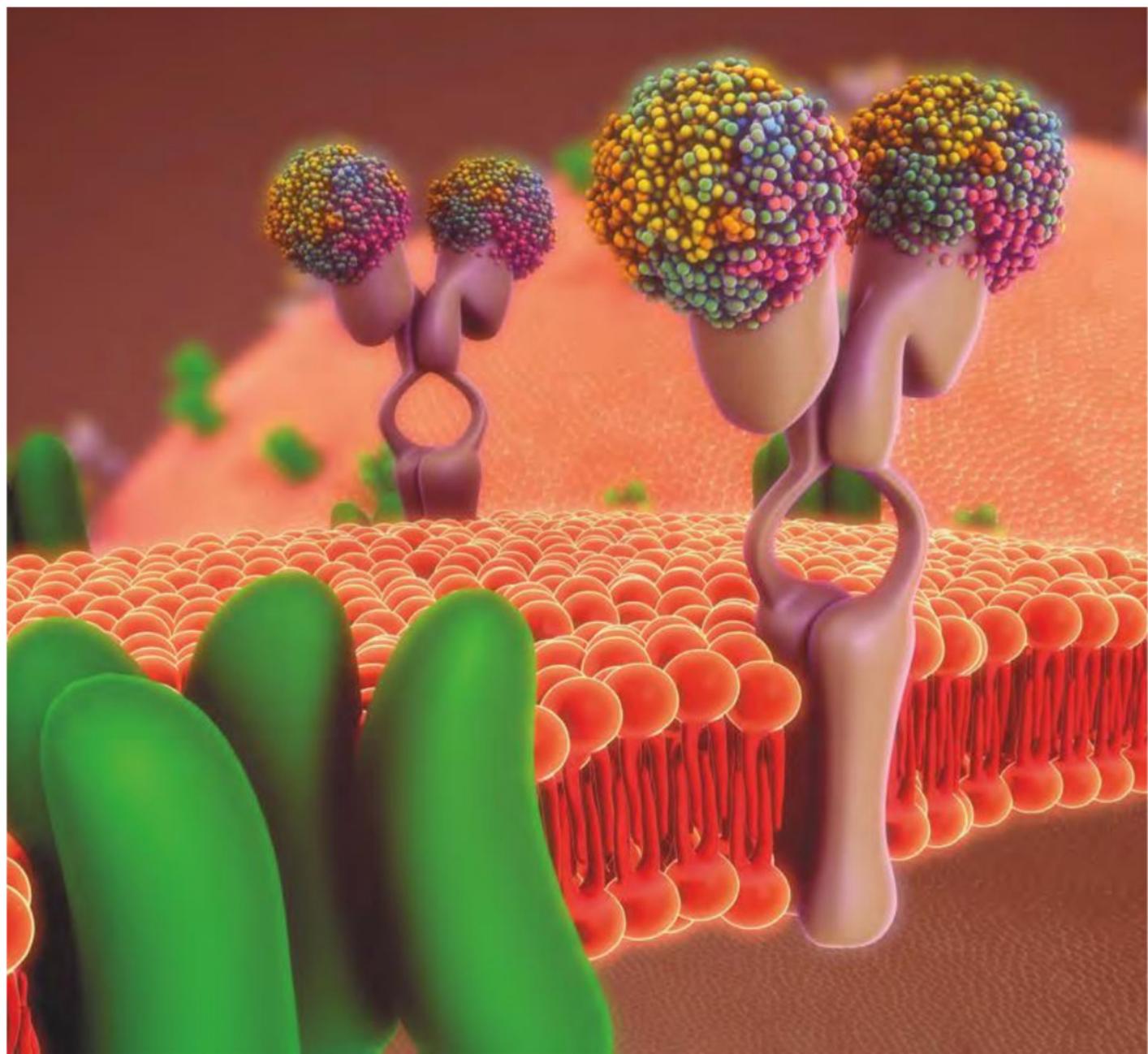
jour-nuit sur l'effet de l'insuline et sur la gestion de la glycémie par le corps commence à être connue, qu'en est-il des mécanismes impliqués ? Concrètement, comment l'organisme fait-il pour synchroniser ses horloges ?

L'équilibre entre la sécrétion et l'action des hormones est essentiel au bon fonctionnement de l'organisme. Ainsi, la sécrétion de plusieurs hormones, et notamment de l'insuline, varie sur une période de 24 heures, et toute modification de ces rythmes semble

prédisposer aux maladies métaboliques. Pour se synchroniser, le corps prend en compte deux éléments essentiels : l'alternance de la lumière et de l'obscurité, ainsi que celle de la prise alimentaire et du jeûne. La lumière perçue par les neurones rétiniens est ainsi transmise au cerveau, qui à son tour règle les horloges périphériques situées dans les différentes parties du corps.

En comprenant comment le cerveau relie les effets de l'insuline à la luminosité, des chercheurs de l'Université de Genève (UNIGE) ont décrypté comment la sensibilité à l'insuline fluctue en fonction des cycles circadiens, mais aussi des organes concernés. D'importantes variations ont en effet été observées selon les tissus (foie, tissu adipeux...). Au centre de leur découverte se trouve les neurones du noyau hypothalamique ventromédial, une partie du cerveau qui est le maître d'orchestre de ce délicat équilibre.

« Cela nous apprend deux choses : d'une part que le même mécanisme de gestion du temps est régulé différemment par le cerveau selon les organes concernés, mais que d'autre part la perturbation d'une seule de ces voies de régulation suffit à augmenter significativement le risque d'un individu à développer un diabète », explique Roberto Coppari, professeur au Centre du diabète de la Faculté de médecine de l'UNIGE, qui a dirigé ces travaux.



Pour mieux évaluer l'effet de la lumière sur la sensibilité des tissus à l'insuline, les chercheurs ont mesuré l'absorption du glucose induite par l'insuline. Il s'avère qu'une petite perturbation de l'apport en lumière (par exemple une heure de lumière au milieu de la période d'obscurité ou une suppression de lumière pendant deux jours) suffit à entraîner un effet négatif. En effet, l'augmentation ou la diminution de la lumière peut influencer profondément la sensibilité des tissus à l'insuline et l'altération, même minime, de ce mécanisme est suffisante pour perturber la stabilité métabolique de manière importante. Cela expliquerait pourquoi les personnes exposées à la lumière au mauvais moment - les travailleurs aux 3x8 par exemple - sont plus susceptibles de développer des maladies métaboliques, et notamment un diabète.

A l'heure actuelle, plus de 450 millions de personnes dans le monde sont diabétiques, dont beaucoup ont besoin d'injections

quotidiennes d'insuline. Lorsque l'insuline endogène n'est pas produite en quantité suffisante, comme chez les personnes souffrant de diabète de type 1, l'insulinothérapie est pour eux le seul traitement disponible, mais il n'est pas sans risque - le principal étant une hypoglycémie potentiellement grave pouvant mener au coma et même à la mort.

« En pratique, la quantité d'insuline administrée aux patients est calculée en fonction de l'apport en glucides », souligne Roberto Coppari. « Si, comme nos résultats l'indiquent, la sensibilité à l'insuline varie en fonction de l'heure de la journée et du rythme circadien de chacun, ces paramètres devraient être pris en compte pour que chaque patient puisse mieux gérer son traitement et en limiter les risques. Au-delà de l'insuline, l'influence du moment de la journée sur l'efficacité des traitements médicamenteux mériterait d'être étudiée beaucoup plus largement. »

Comment voir les traces précoces d'Alzheimer dans le cerveau

Bien avant l'apparition des premiers troubles cognitifs, la maladie d'Alzheimer peut s'observer dans le cerveau.

Du vivant du patient, grâce à des bio marqueurs, on peut effectivement mesurer les modifications cérébrales causées par la maladie. On observe notamment la diminution de la taille de certaines structures cérébrales. Mais on ne savait pas à quel moment ces modifications intervenaient et en quoi elles différaient de celles observées au cours du vieillissement.

Pour répondre à ces questions, des chercheurs du CNRS de Bordeaux, de l'École pratique des hautes études (EPHE) et de l'université de Valence (Espagne) ont créé un modèle de structures cérébrales qui reproduit l'évolution

et la dynamique du cerveau sur toute une vie ; et cela grâce à un nombre massif d'IRM (plus de 4 000) traité avec la plateforme volBrain. La communauté scientifique ne dispose pas en effet d'images de toutes les périodes de la vie pour les patients atteints d'Alzheimer. Les chercheurs ont donc proposé de modéliser l'évolution moyenne du volume des structures cérébrales en utilisant un très grand nombre d'échantillons afin d'estimer le point de divergence entre les sujets sains et malades.

A partir d'IRM de 2944 sujets témoins sains âgés de quelques mois à 94 ans, ils ont élaboré un modèle « normal » de l'évolution cérébrale moyenne, qu'ils ont comparé à un modèle pathologique moyen, établie à partir des IRM de 1385 sujets malades âgés de plus de 55 ans

et de 1877 témoins jeunes.

Leur étude montre une divergence précoce des modèles pathologiques par rapport à la trajectoire normale du vieillissement avant 40 ans pour l'hippocampe, puis vers 40 ans pour l'amygdale, ces deux structures s'atrophiant en cas d'Alzheimer. Ces résultats montrent également un élargissement précoce des ventricules latéraux, des cavités à l'intérieur du cerveau, pour les patients atteints d'Alzheimer.

Par contre, lors d'un vieillissement normal, cet élargissement des ventricules apparaît aussi pour les témoins sains, limitant l'intérêt de cette mesure à des âges avancés. D'où l'intérêt d'étudier la dynamique des biomarqueurs sur toute une vie.

Sans famille, les orques ne peuvent pas vivre

Une équipe de recherche du CNRS et de La Rochelle Université vient de montrer que la survie des orques était directement liée à leur appartenance à un groupe social stable.

A partir d'un suivi par photo-identification entamé en 1987, les scientifiques ont montré que les orques survivantes au sein d'une famille décimée adoptent un comportement social « erratique », passant d'un groupe social à l'autre. Moins ces associations sont durables, plus forte est la probabilité pour les orques de mourir. Ces individus n'étant vraisemblablement pas pleinement admis par les groupes sociaux qu'ils visitent, n'auraient pas accès à la même quantité de nourriture et finiraient par dépérir.

Ainsi, entre 1996 et 2002, une pêcherie illégale à la légine australe, avec laquelle les orques interagissaient, a été responsable de la mort de la moitié de la population d'orques de l'archipel Crozet. Depuis, leur taux de survie n'a jamais retrouvé sa valeur initiale.

Ces découvertes mettent en évidence, pour la première fois, les conséquences sur le long terme d'un évènement ayant affecté la survie et l'organisation sociale d'une espèce de mammifère.



Quand les mâles sont nécessaires à la reproduction, mais pas leurs gènes

Chez un ver nématode, les mâles servent uniquement à aider les femelles à produire des clones d'elles-mêmes. Ce mode de reproduction inédit vient d'être décrit par des chercheurs français.

En 1949, le jeune biologiste Victor Nigon présentait dans son travail de thèse ses observations sur la reproduction de diverses espèces de nématodes, des petits vers ronds vivant dans les sols. Et parmi elles, le ver *Mesorhabditis belari* chez qui les rares mâles présents dans la population sont nécessaires à la reproduction, bien que le matériel génétique des spermatozoïdes soit rarement utilisé par l'ovule. L'embryon qui se développe donne naissance à une femelle, clone de sa mère.

Soixante-dix années plus tard, ce ver a piqué à nouveau la curiosité d'une équipe de recherche internationale pilotée par des chercheurs du CNRS, de l'ENS de Lyon, de l'Université Claude Bernard Lyon 1 et du Muséum national d'Histoire naturelle. Ils ont confirmé

les premières observations de Victor Nigon, mais ont également noté que dans les 9% des cas où le matériel génétique est utilisé après fécondation, l'embryon donne naissance à un mâle. Ainsi, les mâles ne peuvent disséminer leurs gènes qu'à leurs fils. *M. belari* représente donc un cas unique, où les mâles n'ont pas de contribution génétique, et peuvent être vus comme une simple extension des femelles pour les aider à démarrer le développement de leurs oeufs.

Si les mâles ne servent pas à disséminer les gènes de leur mère, alors il faut qu'ils servent au moins à ce que la mère produise le plus de descendants possibles. Cela n'est possible que si les fils qu'une femelle produit aident ses propres filles à produire un grand nombre d'embryons. En d'autres termes, si les mâles fécondent préférentiellement leurs soeurs.

Mais pourquoi la proportion de 9% de mâles a-t-elle été retenue au cours de l'évolution, et non 2% ou 20% par exemple ? En utilisant

la « théorie des jeux », les chercheurs ont montré que produire 9% de mâles était une stratégie évolutivement stable : cette quantité est suffisante pour s'assurer qu'un maximum de descendantes femelles soient produites, sans pour autant gaspiller trop de ressources dans la production de mâles dont les gènes n'ont aucun avenir.

L'asexualité est un mode de reproduction où des espèces composées uniquement de femelles produisent des clones d'elles-mêmes. Au contraire de la sexualité, où des individus de sexe mâle permettent le brassage génétique avec les femelles. *M. belari* présente un cas nouveau, où des mâles peuvent être utiles à la reproduction des femelles, même sans brassage génétique. L'équipe de recherche compte maintenant poursuivre ces travaux en essayant de comprendre comment un tel mode de reproduction a pu émerger, et en testant la stabilité de l'espèce *M. belari* via l'étude de son génome.

L'atmosphère terrestre beaucoup plus étendue qu'on ne croyait

L'atmosphère de la Terre est bien plus large que le mince anneau bleu qui entoure notre planète vue de l'espace : au-delà de ce cercle, elle se poursuit jusqu'à se « fondre » dans l'espace, se finissant en un vaste nuage d'atomes d'hydrogène.

Une équipe internationale, comprenant deux chercheurs du CNRS du Laboratoire "Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales" (CNRS/Sorbonne Université/Université Versailles Saint-Quentin), vient de découvrir que notre atmosphère s'étend ainsi jusqu'à 630 000 km, soit presque deux fois plus loin que la Lune, six fois plus loin que la limite supposée jusqu'ici !

En réalité, l'atmosphère terrestre devient très vite extrêmement ténue : à 60 000 km, elle



n'est déjà plus composée que de 70 atomes par centimètre cube. Et à mi-chemin, au niveau de la Lune, seulement 0,2 atome par centimètre cube. Autant dire le vide... ou presque. L'atmosphère terrestre était donc sans impact pour les astronautes des missions lunaires Apollo, il y a cinquante ans. Mais

elle pourrait interférer avec les observations des télescopes placés aujourd'hui en orbite terrestre, ou demain sur la Lune.

Une découverte d'autant plus étonnante qu'elle a été réalisée à partir de données de l'instrument Swan de l'observatoire spatial

SOHO (ESA/NASA), récoltées... il y a près de vingt ans, entre 1996 et 1998, et que ces chercheurs ont souhaité ré-analyser de façon plus approfondie.

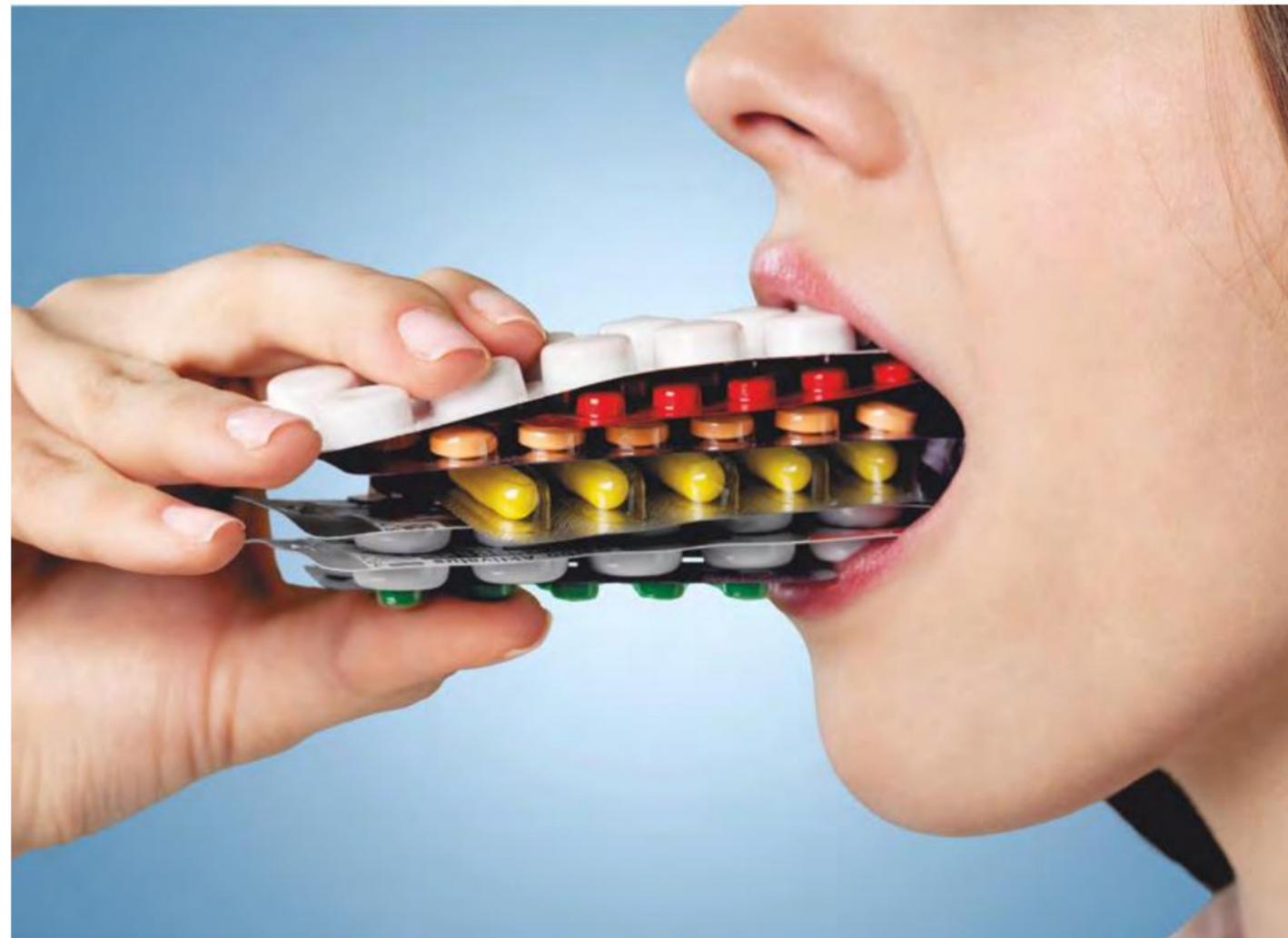
Une nouvelle arme contre l'antibiorésistance

Avec la découverte des antibiotiques dans les années 1930, la mortalité due aux maladies infectieuses a drastiquement diminué. Cependant, suite à leur trop grand usage, des mécanismes de résistance des bactéries émergent depuis une vingtaine d'années et se répandent à l'échelle mondiale de façon inquiétante.

Peu de nouveaux antibiotiques sont développés et le laps de temps, entre l'introduction d'un traitement et la résistance qui s'ensuit, est de plus en plus court. La résistance menace notre capacité à traiter les maladies infectieuses, entraînant des invalidités et des décès. Lors de l'utilisation d'un traitement antibiotique, les molécules thérapeutiques s'en prennent à l'ensemble des bactéries présentes dans le microbiote. Cette destruction non-ciblée entraîne une dysbiose, c'est-à-dire une perturbation de l'équilibre de l'écosystème bactérien, pouvant provoquer l'apparition de bactéries dites opportunistes, ou la résistance à l'antibiotique utilisé.

Pour prévenir l'effet délétère des dysbioses, l'enjeu est de développer des stratégies antimicrobiennes hautement spécifiques. Par exemple, l'utilisation de l'outil CRISPR-CAS 9 permet de cibler les gènes de résistance chez les bactéries pathogènes, mais le taux d'échappement de la technique (c'est-à-dire quand le pathogène parvient à échapper aux différents mécanismes de défense mis en place par l'organisme infecté) reste relativement élevé.

Face à la menace mondiale, une équipe dirigée par Didier Mazel, chercheur à l'Institut Pasteur, incluant des scientifiques du CNRS et de l'Universidad Politécnica de Madrid, est parvenue à programmer une structure génétique bactérienne, la rendant capable de tuer



spécifiquement les bactéries multi résistantes aux antibiotiques, sans détruire les bactéries bénéfiques à l'organisme.

Leur stratégie est basée sur l'expression spécifique de toxines extrêmement puissantes délivrées par conjugaison. La conjugaison est la capacité des bactéries à s'échanger des gènes, grâce aux plasmides, des molécules d'ADN spécifiques aux génomes bactériens. Dans cette nouvelle stratégie, le gène codant pour la toxine est donc à l'intérieur du plasmide.

« L'utilisation des toxines issues du système « toxine-antitoxine de type II », nous a paru judicieuse, car il s'avère que les bactéries ne développent pas de phénomène de résistance face à cet arsenal. En revanche, l'un des défis de cette méthode est de maîtriser l'extrême

puissance des toxines. Afin de contrôler ces toxines, nous avons séparé leurs gènes en deux fragments. Ainsi, nous nous assurons qu'elles ne seraient efficaces qu'en présence des deux morceaux recombinaés » explique Didier Mazel.

Les scientifiques ont affiné encore plus cette "arme" pour que la toxine puisse cibler uniquement les souches de bactéries résistantes aux antibiotiques. Pour ce faire, ils ont créé un module génétique exprimant un inhibiteur hautement spécifique de la toxine, une antitoxine, qui s'éteint lorsque la bactérie contient des gènes de résistances.

Ce nouvel outil, qui fait l'objet d'une demande de brevet, génère un taux minime d'apparition de nouvelles résistances.

On a attrapé des « gènes sauteurs » humains !

Tout au long de l'évolution, le génome de la plupart des êtres vivants s'est complexifié grâce aux éléments transposables ou « gènes sauteurs », des fragments d'ADN capables de se déplacer ou de se copier d'un endroit à un autre sur les chromosomes. Des chercheurs ont pu capturer ces « gènes sauteurs » juste après leur déplacement.

La prolifération des « gènes sauteurs » a été tellement intense chez les mammifères et les primates, qu'ils constituent plus de la moitié de nos chromosomes ! Bien sûr, ils ne sautent pas tous en même temps, dans toutes nos cellules. Parmi toutes les copies présentes dans notre ADN, seule une petite fraction est toujours active. Toutes les autres sont des vestiges moléculaires qui reflètent des millions d'années d'évolution au cours desquelles les insertions néfastes ont été éliminées et celles bénéfiques conservées.

Chez l'humain, les gènes sauteurs les plus actifs sont les rétrotransposons L1. En sautant, ils peuvent altérer ou détruire des gènes et provoquer l'apparition de maladies génétiques comme des hémophilies ou des dystrophies musculaires. Les rétrotransposons L1 sont aussi particulièrement actifs dans certaines formes de cancers, et pourraient être impliqués dans le vieillissement cellulaire ou dans certaines maladies mentales.

Les rétrotransposons L1 ciblent-ils des régions chromosomiques spécifiques ou s'insèrent-ils au hasard ? Les équipes de Gaël Cristofari et Simona Sacconi, directeurs de recherche à l'Inserm au sein de l'Institut de recherche sur le cancer et le vieillissement de Nice - Ircan (Inserm, CNRS, Université



Côte d'Azur), et leurs collaborateurs à l'Université de Montpellier, sont parvenus, grâce à une technique de séquençage du génome dite « à haut débit », à capturer ces gènes sauteurs en pleine action, juste après qu'ils aient sauté à une nouvelle position. En croisant leurs observations avec des banques de données génomiques et épigénomiques, les chercheurs ont identifié les caractéristiques du génome qui influencent l'intégration des rétrotransposons L1, la plus notable étant la réplication de l'ADN, ainsi que le rôle prépondérant des phénomènes de sélection naturelle après intégration.

« Jusqu'à présent, on savait que les rétrotransposons L1 ont tendance à s'accumuler dans certaines régions de nos chromosomes, notamment l'hétérochromatine. Mais on

ne savait pas si cela reflète une attraction particulière pour ces régions, ou s'ils sont uniquement tolérés dans ces régions et éliminés ailleurs par sélection naturelle. Lorsqu'on sait où ils sautent et les copies qui sont conservées au cours de l'évolution, on peut découvrir - en négatif - les régions où ils peuvent faire des dommages », explique Gaël Cristofari.

Ces résultats permettent de mieux comprendre comment les gènes sauteurs peuvent provoquer des mutations chez l'humain et contribuer à l'évolution de notre patrimoine génétique. Ils pourront être utiles à l'avenir pour interpréter les données de séquençage de génome entier, notamment en médecine personnalisée ou dans les grands programmes de séquençage.

Le blob absorbe les substances pour les mémoriser !

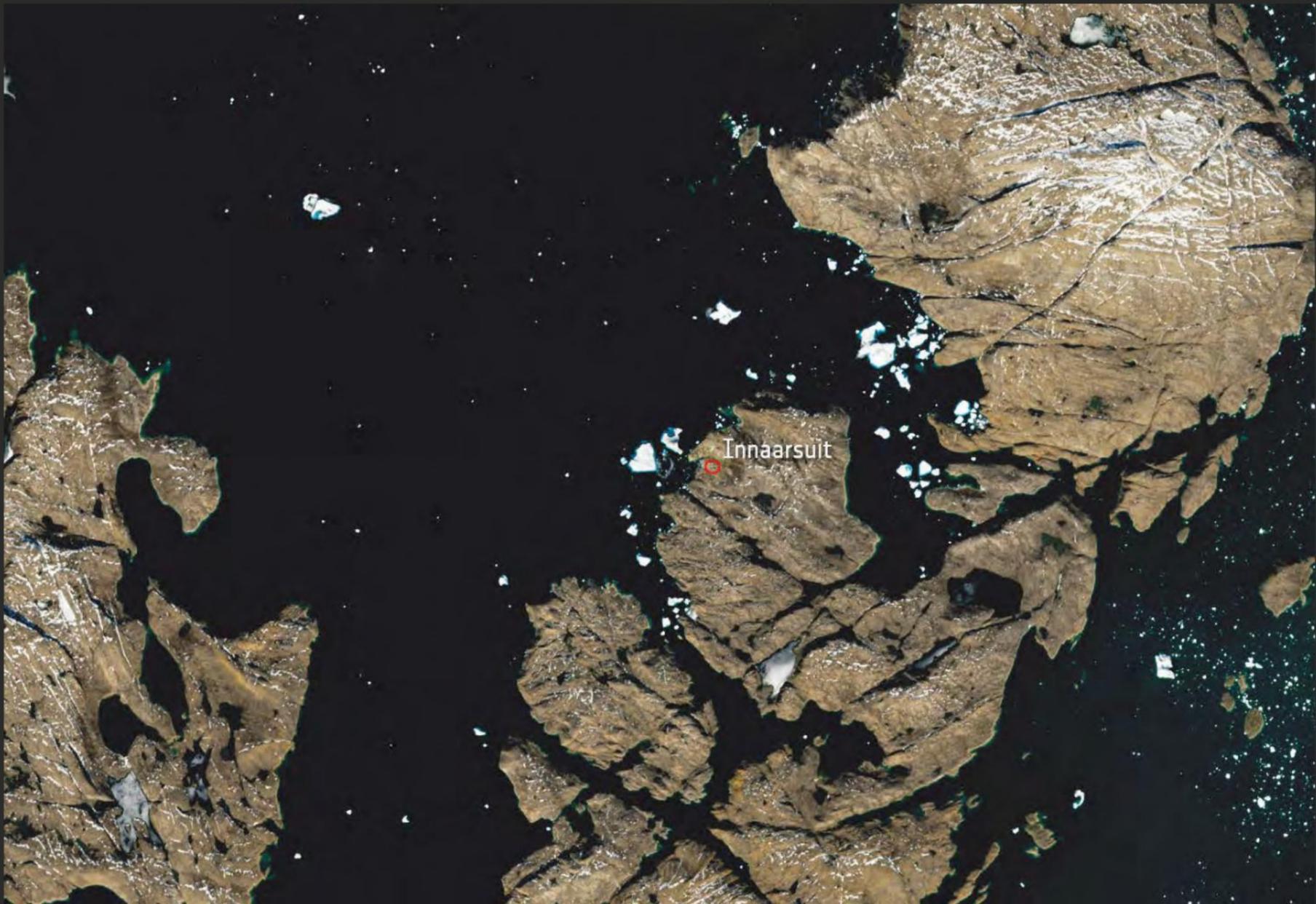
En 2016 des scientifiques du CNRS ont démontré que le blob, un organisme unicellulaire complexe mais dépourvu de système nerveux, pouvait apprendre à ne plus craindre une substance inoffensive mais aversive et qu'il pouvait transmettre cette connaissance à ses semblables. Dans une

nouvelle étude, des chercheurs ont montré quel était le support de cette « mémoire »... et il s'agirait en réalité de la substance aversive elle-même !

Comment le blob (*Physarum polycephalum*) était capable d'emmagasiner une

connaissance et de la transmettre à ses congénères demeurait un mystère. Des chercheuses et chercheurs du Centre de recherches sur la cognition animale (CNRS/UT3 Paul Sabatier) viennent de montrer que cet organisme unicellulaire complexe apprend à tolérer une substance en l'absorbant.

Attention iceberg !



Sur cette image prise par le satellite Sentinel-2A de l'ESA en 2018, on voit un immense iceberg approchant dangereusement la côte ouest du Groenland où se situe le petit village de Innaarsuit. Si l'iceberg se cassait, la chute de la glace dans l'océan entraînerait des vagues pouvant engloutir le village.

Les 169 résidents d'Innaarsuit sont habitués à voir passer de grands icebergs mais celui-ci pesait plus de 10 millions de tonnes : c'est le plus grand qu'ils aient jamais vu ! Le monde entier s'est inquiété pour eux. Mais avec la fonte des pôles, ils risquent malheureusement d'en voir arriver bien d'autres.



Cette découverte découle d'une observation : les blobs s'échangent de l'information seulement lorsque leurs réseaux veineux fusionnent. Dans ce cas-là, la connaissance circule-t-elle au travers de ces veines ? Dès lors, la substance à laquelle le blob s'habitue constitue-t-elle le support de sa « mémoire » ?

Dans un premier temps, l'équipe de scientifiques a entraîné des blobs à traverser des

environnements salés pendant six jours dans le but de les habituer au sel. Par la suite, elle a évalué la concentration en sel au sein de ces blobs : ceux-ci en contenaient dix fois plus que les blobs « naïfs ». Les chercheurs les ont alors placés dans un environnement neutre et ont observé qu'ils excrétaient le sel qu'ils contenaient au bout de deux jours, perdant de fait « la mémoire ». Cette expérience semblait donc indiquer un lien entre la concentration de

sel au sein de l'organisme et la « mémoire » de l'apprentissage.

Pour aller plus loin et confirmer cette hypothèse, les scientifiques ont introduit dans des blobs naïfs la « mémoire » de l'habituation au sel en injectant directement dans leurs organismes. Deux heures après, les blobs ne se comportaient plus comme des naïfs mais comme des blobs ayant subi un entraînement de six jours.

Lorsque les conditions environnementales se détériorent, les blobs sont capables d'entrer dans un état de dormance. Les chercheurs ont démontré qu'un mois après être entrés dans cet état, les blobs conservaient leur habituation au sel. Les blobs stockent en effet le sel absorbé pendant la phase de dormance et conservent ainsi la connaissance sur le long terme.

Les résultats de cette étude prouvent que la substance aversive pourrait constituer le support de la « mémoire » du blob. Les chercheurs essaient maintenant de comprendre si le blob peut mémoriser plusieurs substances aversives en même temps et dans quelle mesure il est capable de s'y habituer.

Première image d'un trou noir : un chercheur du CNRS l'avait calculée dès 1979

La véritable première image d'un trou noir, obtenue par le réseau international de télescopes EHT et révélée le 10 avril 2019, démontre quarante ans plus tard combien était juste la toute première simulation au monde réalisée par Jean-Pierre Luminet, alors jeune chercheur au CNRS.

Publiée en 1979 dans *Astronomy and Astrophysics*, elle connaît alors un retentissement mondial, d'autant que ce type d'astre est encore très théorique. Il ne s'agit pas d'une vue d'artiste mais d'une image se basant sur les propriétés physiques alors supposées d'un trou noir et de son disque gazeux, comme

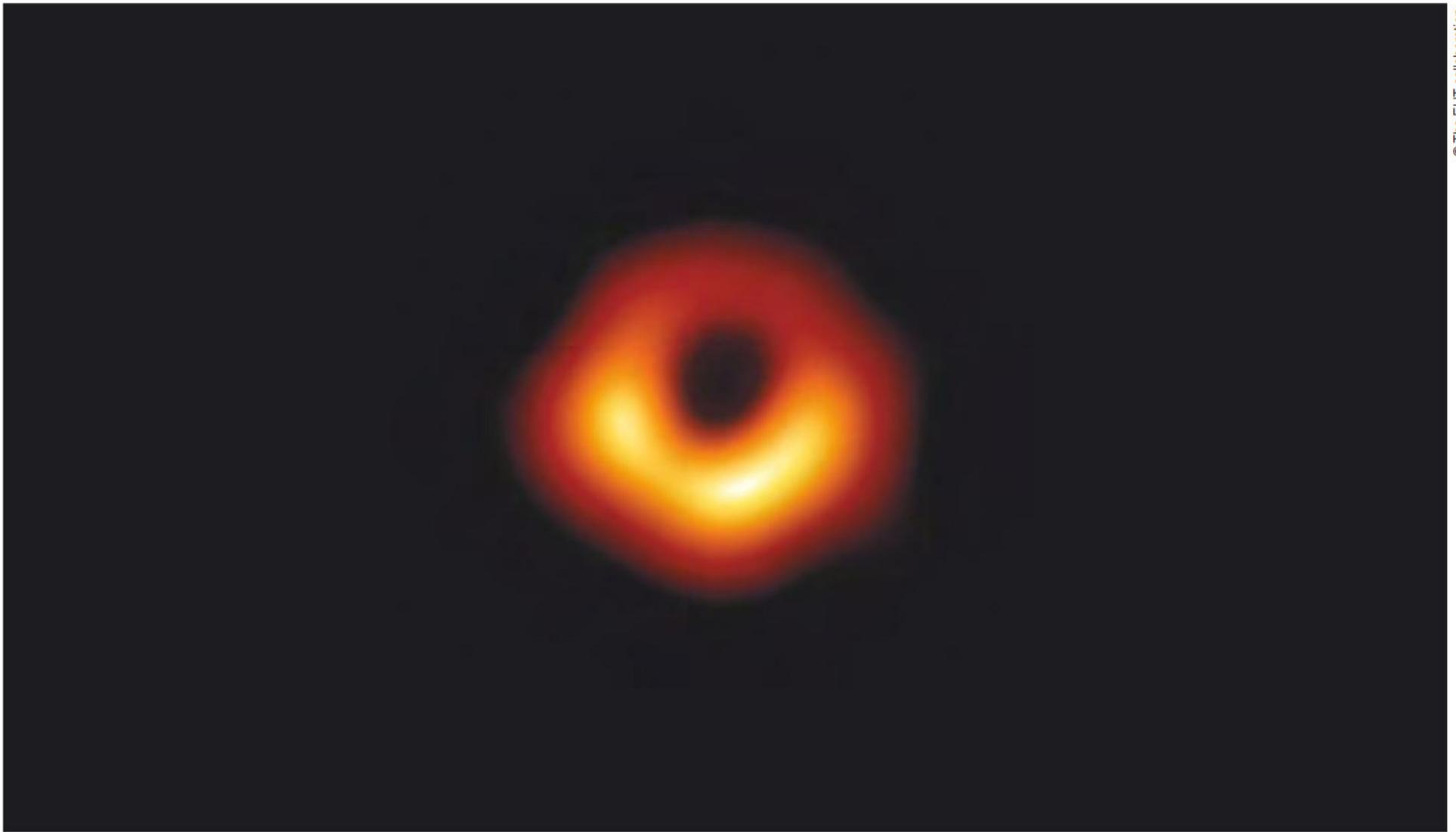
par exemple la rotation et la température de ce dernier, et sur la théorie de la relativité générale d'Einstein.

Jean-Pierre Luminet imagine alors un cercle noir, qui ne s'appelle pas encore l'ombre du trou noir, au milieu d'un disque d'accrétion lumineux, avec un côté nettement plus brillant que l'autre. De fait, deux effets devraient décaler le rayonnement de ce disque parvenant jusqu'à nous : l'effet Einstein, par lequel le champ gravitationnel abaisse la fréquence et diminue l'intensité, et l'effet Doppler, par lequel le déplacement de la source par rapport à l'observateur produit une amplification

quand la source se rapproche et une atténuation quand elle s'éloigne. Un effet induit par la rotation du disque d'accrétion autour du trou noir.

Autant de caractéristiques que l'on retrouve dans la véritable image obtenue quarante plus tard par l'EHT et qui montre combien cette première simulation était juste.

Jean-Pierre Luminet est aujourd'hui directeur de recherche émérite du CNRS au Laboratoire d'astrophysique de Marseille (CNRS/CNES/Aix-Marseille Université), et associé au Luth (Observatoire de Paris/CNRS).



© The EHT collaboration

Première image de l'ombre d'un trou noir : le tour noir supermassif du centre de la galaxie M87, observé par le réseau EHT.

Une canne blanche **intelligente**

Inspex est un dispositif de détection mobile qui doit permettre aux personnes malvoyantes de localiser les obstacles plus efficacement, en trois dimensions. Une véritable bulle de protection !

Fruit d'un travail de développement mené par un consortium européen coordonné par le CEA, Inspex est spécialement conçu pour les personnes déficientes visuelles. Placé sur la canne blanche de l'utilisateur, il est muni de capteurs qui mesurent sa distance aux obstacles. Il est connecté à un smartphone et à des écouteurs extra-auriculaires qui communiquent à l'utilisateur des informations sur la position des objets qui l'entourent, dans les trois dimensions de l'espace. On parle alors de « réalité augmentée sonore », facile à interpréter par l'utilisateur.

« Après une phase d'initiation très simple et quelques heures d'utilisation d'Inspex, la

personne malvoyante parvient à se déplacer de façon fluide et à contourner les obstacles sans les toucher. Tout cela grâce à la réalité augmentée sonore », explique Suzanne Lesecq, chercheuse du CEA-Leti et coordinatrice du projet.

Ainsi, Inspex crée une bulle de sécurité virtuelle autour de la personne, qui permettra à l'utilisateur de se déplacer plus sereinement, sans avoir à craindre de rencontrer divers obstacles sur son chemin. Les partenaires sont en train de délivrer les différents composants et l'assemblage du prototype devrait intervenir dans les mois qui viennent. Le système sera simple à utiliser, robuste et tout terrain. Cependant, le principal défi consiste à intégrer tous ces capteurs en conservant une consommation raisonnable et un encombrement et un poids aussi faibles que possible. « Nous avons aussi décidé de mettre au point un boîtier et non une canne spécifique, de manière à ce que

l'utilisateur puisse équiper un objet qui lui est familier », poursuit la scientifique.

Le consortium européen a été créé en réunissant des experts dans le domaine de la micro-électronique, de la fusion de données en temps réel, des interfaces audio 3D et de la déficience visuelle. L'équipe du CEA dispose d'une expertise en matière de technologie radio UWB et de mise en place en temps réel de techniques de perception de l'environnement initialement employées dans le secteur automobile.

En plus des applications destinées aux personnes malvoyantes, le système Inspex pourrait être utilisé dans les systèmes de surveillance, de mesure des distances pour drones et robots, les machines d'assemblage amenées à manipuler en autonomie des pièces complexes, ou encore les maisons et les usines intelligentes.

Les cétacés sont pourvus de plus de sens qu'on ne croit

Contrairement à ce qui était jusqu'ici admis, les baleines à bosse seraient-elles capables de percevoir les goûts et les odeurs ?

Comment les cétacés trouvent-ils leur nourriture dans le vaste espace des océans ? Jusqu'à présent, les scientifiques pensaient que ces seigneurs du monde du silence utilisaient essentiellement l'audition et la vision pour repérer leurs proies, et notamment le krill qui constitue l'aliment principal des baleines à bosse.

Les chercheurs du CEFÉ (Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive) de Montpellier sont à l'origine d'une grande avancée dans la connaissance des cétacés : ils ont montré que les baleines à bosses perçoivent également les signaux chimiques. « *Nous avons mesuré les réponses comportementales des baleines à bosse face à deux stimuli chimiques liés à leur alimentation : la poudre de krill et le diméthyle sulfure ou DMS, un composé chimique émis à la surface des aires de forte productivité marine qui pourrait constituer un indice indirect de présence de nourriture* », explique Aurélie Célérier, enseignante-chercheuse au CEFÉ.



Les biologistes ont constaté que ces substances chimiques engendraient des modifications de comportement chez les cétacés : les baleines à bosse sont attirées par la poudre de krill et réalisent une exploration sensorielle approfondie. Par ailleurs la poudre de krill et le DMS provoquent tout deux une modification de leurs vocalisations.

« *C'est la première fois que l'on montre que ces cétacés répondent à des stimuli*

chimiques », complète la scientifique. Ces travaux pourront notamment être utilisés pour la sauvegarde des mammifères marins : « *Ils permettront par exemple d'identifier des molécules auxquelles répondent les baleines que l'on pourra utiliser pour les maintenir à distance des zones où elles sont confrontées à des dangers, comme les filets de pêche ou un trafic maritime intense* ».

Des exoplanètes difficiles à découvrir

« *Il aura fallu 20 ans et bien plus d'observateurs encore !* » commente Emily Rickman, chercheuse au Département d'astronomie de la Faculté des sciences de l'UNIGE. Avec une équipe d'astronomes, ils ont découvert 5 nouvelles planètes dont les périodes de révolution se situent entre 15 et 40 ans.

Depuis 1995, plus de 4000 exoplanètes ont été découvertes. Cependant, la grande majorité est constituée de planètes massives et proches de leur étoile. Ceci pour une simple raison : ce sont les plus faciles à détecter avec les technologies actuelles. En effet, pour être certain de la présence d'une planète, il faut

attendre qu'elle ait effectué une ou plusieurs révolutions autour de son étoile. Ceci peut prendre quelques jours pour les plus proches de leur étoile, mais des dizaines d'années pour les plus éloignées, comme Jupiter qui met 11 ans pour faire le tour du Soleil.

Seul un télescope dédié à la recherche des exoplanètes peut réaliser de telles mesures sur d'aussi longues périodes, ce qui est le cas du télescope EULER de l'Université de Genève (UNIGE), un instrument unique au monde situé à l'Observatoire de la Silla, au Chili. Ces planètes à longues périodes de révolution intéressent particulièrement les astronomes,

car elles font partie d'une population mal connue mais incontournable pour expliquer la formation et l'évolution des planètes.

Plus éloignées de leur étoile, elles peuvent être observées grâce à des techniques d'imagerie directe. En effet, jusqu'à ce jour, la plupart des planètes ont été découvertes grâce aux deux méthodes indirectes principales : celle des vitesses radiales, qui mesure l'influence gravitationnelle d'une planète sur son étoile, et celle des transits, qui détecte la mini éclipse provoquée par le passage d'une planète devant son étoile.

Dès sa mise en service en 1998, le télescope EULER a été équipé du spectrographe CORALIE qui permet de mesurer des vitesses radiales avec une précision de quelques mètres par seconde, permettant ainsi de détecter des planètes de masse aussi petite que Neptune. « Dès 1998, un programme de suivi de planètes a été instauré et exécuté scrupuleusement par les nombreux observateurs de l'UNIGE qui se sont succédé toutes les deux semaines à La Silla pendant 20 ans », résume Emily Rickman. Le résultat est remarquable : 5 nouvelles planètes ont pu être découvertes et les orbites de 4 autres connues ont pu être définies précisément.

Les planètes en question ont des périodes de révolution entre 15,6 et 40,4 ans, avec des masses comprises entre 3 et 27 fois la masse de Jupiter environ. Cette étude contribue à augmenter la liste des 26 planètes dont la période de révolution est supérieure à 15 ans. « Mais elle nous fournit surtout de nouvelles cibles pour l'imagerie directe ! », conclut la chercheuse genevoise.



Au-delà des mots : les origines cognitives du sens linguistique



La transmission de l'information passe parfois par des présuppositions...

Les langues mettent à notre disposition de nombreux moyens pour transmettre de l'information. Prenons, par exemple, la phrase : « Marc achèvera l'écriture de son livre » et sa négation « Marc n'achèvera pas l'écriture de son livre ». Dans les deux cas, nous comprenons que Marc a déjà commencé son livre. Cette information est transmise de façon indirecte et on voit qu'elle échappe à la négation : ceci est caractéristique de ce que les linguistes appellent une « présupposition ». La linguistique moderne étudie les présuppositions et d'autres façons de transmettre de l'information sous le terme générique « d'inférences » : elle en répertorie les différentes espèces pour comprendre comment nous les traitons et quelles sont leurs fonctions.

Comment donc calcule-t-on ces inférences ? La présupposition ci-dessus, par exemple, est-elle liée à notre connaissance du fait que pour « achever », il faut d'abord « commencer », ou à ce que nous avons appris du mot « achever » en apprenant le français ? Très souvent, les linguistes situent l'origine de ces inférences dans les mots qui les déclenchent, comme si notre dictionnaire mental, construit en apprenant notre langue, indiquait que « achever » engendre une présupposition.

Pour évaluer ceci, deux chercheurs du CNRS au Laboratoire de sciences cognitives et psycholinguistique (CNRS/ENS Paris/EHESS)

et à l'Institut Jean-Nicod (CNRS/ENS Paris), et leur collègue australienne de Western Sydney University, ont essayé de faire comprendre à des participants naïfs des phrases hybrides faites de mots ordinaires mélangés à d'autres types de matériaux porteurs de sens tels que des gestes (ex : action de retirer des lunettes) ou des animations visuelles (une barre changeant de couleur).

Ils ont d'abord démontré que les participants comprennent ces gestes/animations inconnus au premier coup d'oeil. Plus important, ces matériaux se fondent dans le langage, et ils ont donc pu reproduire les tests linguistiques

traditionnels, comme celui de la négation pour la présupposition. Leur étude a alors permis de prouver que gestes et animations engendrent une riche gamme d'inférences linguistiques. Ces inférences apparaissent ici spontanément, sans apprentissage et même sans mots.

Ce travail montre donc comment utiliser les méthodes puissantes de la linguistique moderne sur des supports autres que la langue. L'étude de ces matériaux non linguistiques peut permettre de comprendre les origines cognitives d'inférences variées, des origines qui vont au-delà des mots.

De nombreux virus naissent au fond de l'océan

Le catalogue le plus complet à ce jour des virus présents dans tous les océans du globe vient d'être obtenu. Une nouvelle étude porte en effet de 16 000 à près de 200 000 le nombre de populations virales océaniques connues, et elle révèle l'importance de l'océan Arctique comme réservoir de virus marins.

Initiée par la Fondation *Tara Océan* et ses partenaires, et coordonnée par le CNRS, le CEA et l'EMBL, l'expédition *Tara Oceans* (2009-2013) a permis de récolter et d'analyser en profondeur 35 000 échantillons de plancton marin. *Tara Oceans* a rassemblé plus de 200 scientifiques issus d'une vingtaine de laboratoires internationaux, aujourd'hui réunis au sein de la Fédération de recherche *Tara Oceans*.

Sa dernière étude - dirigée par des chercheurs de l'université d'État de l'Ohio et impliquant des équipes du CEA, du CNRS, de l'EMBL, de l'ENS-PSL - porte donc le nombre de populations virales océaniques connues de 16 000 à près de 200 000. Mené en collaboration avec les pays riverains de l'océan Arctique, ce travail inclut des échantillons provenant de la circumnavigation effectuée en lisière de la banquise arctique par la goélette scientifique *Tara* en 2013, une région parmi



les plus touchées par le changement climatique. Il a permis de documenter les virus en analysant leur ADN. Au-delà de l'océan Arctique, la collecte de données s'est élargie aux autres océans, et à des profondeurs plus grandes que les études menées auparavant.

En raison de l'impact de ces virus sur l'ensemble des organismes du plancton marin (bactéries, archées, protistes, et animaux),

leur recensement détaillé est précieux. En effet, les virus peuvent changer la structure des populations de bactéries en les colonisant, en stimulant leur métabolisme, ou encore en modifiant leur trajectoire évolutive, influençant globalement la capacité de l'océan à séquestrer le carbone de l'atmosphère.

Les micro-organismes du plancton marin jouent un rôle primordial sur Terre : ils

Trafic maritime sur le Bosphore



© contains modified Copernicus Sentinel data (2018), processed by ESA

Sur cette image prise par le satellite Sentinel-1 de la mission Copernicus de l'ESA, on peut voir combien la séparation est tenue entre l'Europe et l'Asie. Le Détroit du Bosphore, au nord-ouest de la Turquie, sépare la Mer Noire et la Mer de Marmara. C'est l'un des passages maritimes les plus empruntés au monde : 48 000 bateaux y passent chaque année !

Tankers pétroliers, bateaux de commerce international, bateaux de pêche, ferries... ce sont eux que l'on voit en petits points colorés. On distingue également trois ponts qui relient les deux continents. Istanbul, la ville la plus peuplée de Turquie, s'étend sur les deux rives (en blanc sur cette image).

produisent plus de la moitié de l'oxygène que nous respirons et absorbent le dioxyde de carbone depuis l'atmosphère jusqu'au fond des océans. En développant de nouvelles méthodes pour séquencer le génome de ces virus au sein des populations planctoniques, les chercheurs ont pu étudier les variations génétiques.

Ces cartes mondiales de la diversité virale sont surprenantes : d'abord, la quasi-totalité des communautés de virus se répartit en seulement cinq groupes, selon leur localisation et leur profondeur. Et, alors que la plupart des études, portant sur les organismes cellulaires et multi-cellulaires, concluaient que la plus haute diversité se situe au niveau des tropiques, et qu'elle diminue à mesure que l'on

se déplace vers les pôles, la diversité virale mesurée dans l'océan Arctique est étonnante.

Ces nouveaux résultats suggèrent que l'océan Arctique est un berceau méconnu de cette diversité virale. Ils soulignent l'importance des régions arctiques, fortement impactées par le changement climatique, pour la biodiversité mondiale.

Les graines héritent des souvenirs de leur mère

Encore un gène paternel réduit au silence... Chez les graines, via des mécanismes épigénétiques inédits, la mère transmet beaucoup d'informations à ses futurs « rejetons ».

Les graines restent dans un état de dormance - un blocage temporaire de leur croissance - pendant leur développement dans la plante mère. Cette propriété permet aux graines de germer pendant la bonne saison, d'éviter que tous les rejetons d'une plante se développent au même endroit et entrent en compétition pour des ressources limitées, et favorise la dispersion des plantes. Les graines perdent

également leur dormance à des échéances variables. « *Des sous-espèces d'une même plante peuvent avoir différents niveaux de dormance selon les latitudes sous lesquelles elles sont produites, et nous voulions comprendre pourquoi* », explique Luis Lopez-Molina, professeur au Département de botanique et biologie végétale de la Faculté des sciences de l'UNIGE.

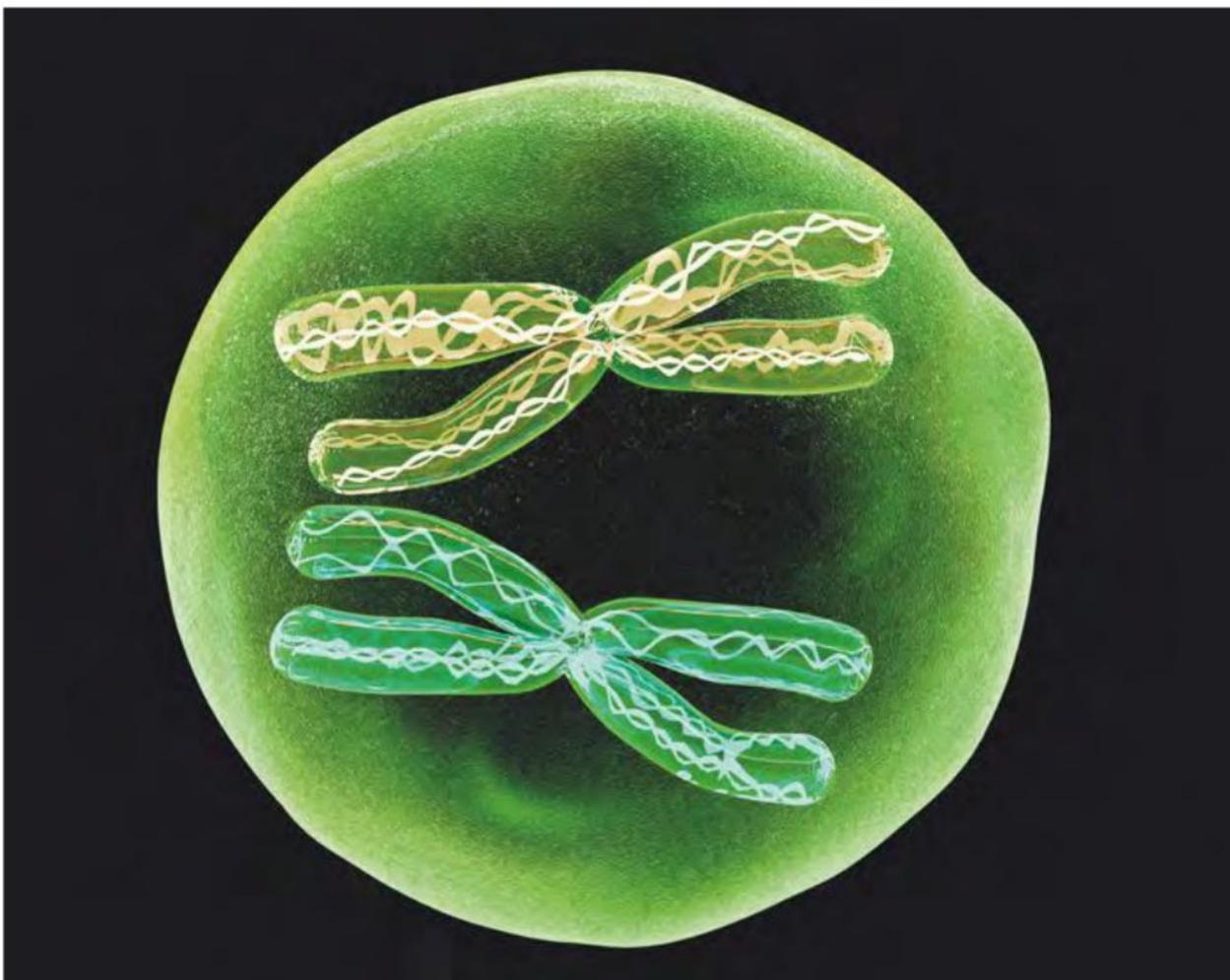
Comme tous les organismes ayant une reproduction sexuée, la graine reçoit deux versions de chaque gène, un allèle maternel et un allèle paternel, qui peuvent avoir des niveaux d'expressions différents. Les

biologistes de l'UNIGE avaient montré en 2016 que les niveaux de dormance d'*Arabidopsis thaliana* (l'Arabette des Dames), un organisme-modèle utilisé en laboratoire, sont hérités de la mère. En effet, chez la graine, le niveau d'expression d'un gène régulateur de dormance appelé allantoinase (ALN) est le même que celui de l'allèle maternel. Ceci implique que c'est l'allèle maternel d'ALN qui est principalement exprimé, au détriment de l'allèle paternel.

Dans l'étude actuelle, les chercheurs montrent que cette empreinte maternelle est transmise par un mécanisme épigénétique, qui influence l'expression de certains gènes sans en modifier la séquence.

L'allèle paternel d'ALN est 'réduit au silence' par des modifications biochimiques appelées méthylations. « *Ces méthylations sont elles-mêmes le résultat d'un processus dans lequel sont impliqués différents complexes d'enzymes et de facteurs, ainsi que de petits fragments d'ARN dits 'interférents'*. Il s'agit d'un exemple inédit d'empreinte génomique, car elle se fait en l'absence de l'enzyme habituellement responsable de la méthylation », détaille Mayumi Iwasaki, chercheuse au sein du groupe genevois.

Les conditions environnementales présentes pendant la formation de la graine laissent aussi leur empreinte, car son niveau de dormance augmente avec une baisse des températures. « *Nous avons découvert que, dans ce cas, les deux allèles du gène ALN sont fortement réprimés dans la graine. Ceci est dû à un*



mécanisme épigénétique semblable, mais dont les acteurs ne sont pas tous identiques à ceux qui opèrent pour réduire l'allèle paternel au silence », expose Luis Lopez-Molina.

Cette empreinte du froid permet à la graine de conserver des informations sur les

températures passées pour les inclure dans le choix du moment optimal de germination. Après la germination, le gène ALN est à nouveau réactivé dans l'embryon. La mémoire du froid sera ainsi effacée, ce qui permet de remettre les compteurs à zéro pour la génération suivante.

On comprend l'intérêt de cette étude, notamment dans le cadre du réchauffement climatique qui pourrait diminuer la dormance de la banque de semences et modifier ainsi la répartition des espèces végétales sous une latitude donnée.

Des traces de pollution de l'époque Romaine dans les glaces du Mont-Blanc



Avant J-C déjà, nos ancêtres s'intoxiquaient et empoisonnaient l'atmosphère lors de leurs activités métallurgiques.

Datées au carbone 14, les couches les plus profondes du glacier du col du Dôme, dans le massif du Mont-Blanc, ont archivé l'état de l'atmosphère au cours de l'Antiquité romaine. Leur analyse, menée par une équipe internationale, et coordonnée par une scientifique du CNRS de l'Institut des géosciences de l'environnement (CNRS/IRD/UGA/Grenoble INP), montre une pollution atmosphérique très significative en métaux toxiques : la présence de plomb et d'antimoine (dont c'est le premier enregistrement dans la glace alpine

ancienne) s'avèrent liées à l'activité minière et à la production de plomb et d'argent des Romains, donc bien avant le début de l'ère industrielle.

Bien que moins bien datée qu'au Groenland, l'archive alpine retrace les grandes périodes de prospérité de l'Antiquité romaine, avec deux maximums d'émission de plomb bien distincts : durant la République (entre 350 et 100 ans av. J.-C.), puis l'Empire (entre 0 et 200 ans apr. J.-C.). Les Romains extrayaient le minerai de plomb argentifère pour produire le plomb nécessaire à la fabrication des conduites d'eau, et l'argent pour la monnaie. Le procédé de séparation plomb-argent

passait par une fusion du minerai à 1200°C, ce qui entraînait d'importantes émissions de plomb dans l'atmosphère comme l'avaient déjà montré des archives continentales telles les tourbières, dont il est cependant difficile de déduire une information globale à l'échelle européenne.

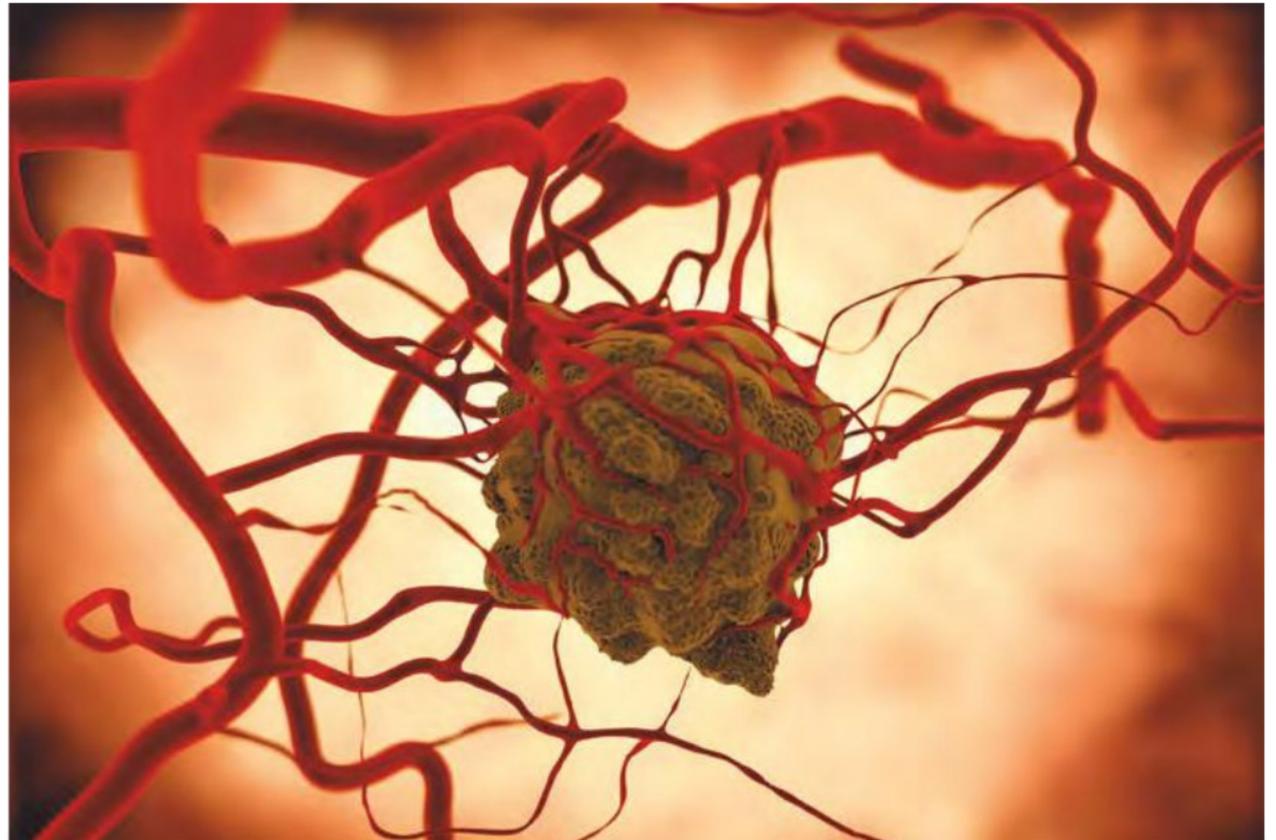
Cette toute première étude de la pollution durant l'Antiquité à partir de glace alpine permet de mieux évaluer l'impact de ces émissions anciennes sur notre environnement européen, et de le comparer notamment à celui de la pollution plus récente liée à l'utilisation de l'essence au plomb dans les années 1950-1985.

Des tumeurs en 3D pour tester des traitements personnalisés

Pourquoi un traitement ne fonctionne-t-il pas de la même manière chez tous les patients ? Comment optimiser les résultats d'un médicament sans pour autant provoquer des effets secondaires à cause d'un surdosage ?

Des chercheurs de l'UNIGE ont mis au point une plateforme de culture cellulaire qui permet de reproduire en 3 dimensions la tumeur d'un patient et de tester les meilleures combinaisons de traitement pour son cas particulier en 5 jours.

Le cancer colorectal est la troisième forme de cancer la plus couramment diagnostiquée et la quatrième la plus meurtrière au monde : 1,4 million de personnes sont touchées chaque année, dont 700 000 de manière mortelle. Aujourd'hui, différents traitements sont appliqués, comme la chimiothérapie, mais leurs dosages élevés provoquent de nombreux effets secondaires et le développement de résistances. Ils sont actuellement testés sur des cultures cellulaires tumorales à deux dimensions (2D), puis appliqués au patient. « Mais cela ne correspond pas à la réalité », s'exclame Patrycja Nowak-Sliwinska, professeure à la section des sciences pharmaceutiques de la Faculté des sciences de l'UNIGE.



« Une tumeur se développe chez le patient non seulement en trois dimensions (3D), mais contient aussi d'autres types de cellules, comme les fibroblastes (tissus) et les cellules endothéliales (vaisseaux sanguins). »

C'est pourquoi les scientifiques genevois ont eu l'idée d'une plateforme qui permet, à partir des lignées de cellules tumorales du patient, de recréer la tumeur en 3D et de la maintenir en vie, afin de pouvoir étudier l'impact des traitements lors de ses différents stades de développement. Pour ce faire, l'équipe de l'UNIGE, en collaboration avec les groupes de Didier Colin (HUG) et d'Olivier Dormond (CHUV), a sélectionné six lignées cellulaires, provenant de six patients différents. Mises en culture, la structure peut alors s'organiser seule en 3D et les trois types de cellules qui composent la tumeur continuent d'interagir entre elles, comme si elles étaient dans le corps du patient. Une première !

Les chercheurs ont ensuite testé plusieurs combinaisons de trois

médicaments homologués aux différents stades de développement des tumeurs cultivées. « Notre premier constat est que chaque patient réagit différemment à une même combinaison, démontrant qu'il est impossible de combattre le cancer colorectal d'une seule manière, mais qu'il faut bien le prendre au cas par cas ! », continue la chercheuse genevoise. Ils ont également constaté qu'une faible combinaison de trois médicaments était bien plus efficace que l'administration à haute dose d'un seul d'entre eux. « La résistance au traitement et les effets secondaires surviennent lorsque le dosage est trop élevé. Combiner plusieurs médicaments à faibles doses permet de contourner ce problème et d'améliorer les réponses au traitement », s'enthousiasme Patrycja Nowak-Sliwinska.

Cette nouvelle plateforme ouvre grand les portes à la médecine personnalisée. Recréer la tumeur du patient en 3D et tester dessus les différentes combinaisons de médicaments afin de sélectionner le traitement optimal prend en moyenne 5 jours, un délai suffisamment court pour agir rapidement contre le cancer.



Nouveau record pour Under The Pole !

Depuis juillet 2018, l'équipe de l'expédition Under The Pole III, dirigée par Emmanuelle Périé-Bardout et Ghislain Bardout, se consacre au programme de recherche DeepHope. Effectué en partenariat avec le Criobe, ce programme porte sur l'étude des coraux mésophotiques - situés entre 30 et 150m de profondeur - en Polynésie française. En avril dernier, ils récoltaient

le corail mésophotique le plus profond au monde : un espoir pour sauver les coraux de surface.

La découverte a été effectuée dans l'archipel des Gambier. Ghislain Bardout et deux plongeurs de son équipe ont atteint 172 m de profondeur pour rapporter le corail mésophotique le plus profond jamais prélevé au monde : le

Leptoseris hawaiiensis. Les scientifiques du Centre de Recherche Insulaire et Observatoire de l'Environnement*, Laetitia Hédouin, Michel Pichon** et Héloïse Rouzé, présents sur place, ont immédiatement pu identifier l'espèce et valider ce record. Au total, les plongeurs de l'expédition ont récolté 4000 échantillons de coraux mésophotiques.

Une collection unique au monde

Michel Pichon, expert de renommée mondiale des récifs coralliens et de leur identification en particulier, qu'il étudie depuis près de 50 ans, ne cache pas son enthousiasme : « J'ai attendu pareilles découvertes depuis 40 ans. L'ensemble des récoltes obtenues à la fin de l'expédition représentera la collection de coraux mésophotiques la plus importante au niveau mondial, tout particulièrement aux profondeurs supérieures à 90 m. Le partenariat « Under The Pole - Criobe » est un des plus intenses jamais réalisés à ce jour, les résultats scientifiques qui se dessinent, ainsi que leur impact, ont clairement un intérêt primordial à l'échelle planétaire. »

La récolte d'un corail à 172 m de profondeur, couplée à cette collection unique, prouvent que les coraux de surface migrent vers le fonds des océans, y trouvent refuge, s'y développent. Laetitia Hédouin, chercheuse CNRS experte en biologie corallienne, explique : « Il ne sera jamais plus possible de parler des récifs coralliens sans considérer cette vie dans les profondeurs comme pouvant constituer un radeau de sauvetage pour les récifs de surface. Ils représentent aujourd'hui un vrai espoir pour restaurer les récifs via un apport de larves pouvant venir recoloniser la surface. Sans ces récifs profonds, les chances de survie des récifs sont très faibles face aux modifications sans précédent que subit la planète. En mettant en lumière une partie largement méconnue des récifs coralliens, nous espérons contribuer à la mise en place de mesures de gestion et protection appropriées afin de sauvegarder ces récifs. Ces découvertes



révèlent une vision totalement nouvelle sur leur fonctionnement. Ils sont un continuum de la surface aux zones mésophotiques où les communautés coralliennes se succèdent. Nos connaissances suggéraient que 25% des coraux pouvaient descendre de la surface aux profondeurs et aujourd'hui, après plus de

4000 échantillons récoltés, la tendance est complètement inversée, avec plus de 60% des espèces de surface capables de coloniser les profondeurs.» La question se pose également sur la capacité de ces coraux à vivre dans ces environnements hostiles.

Une biodiversité égalant celle des forêts tropicales



© Under The Pole / Zeppelin Network

L'ordinateur de plongée de Ghislain Bardout indique 172m de profondeur. Jamais un corail mésophotique n'avait été découvert à une telle profondeur !

La vie est apparue sur la Terre il y a 3,5 milliards d'années et, après des centaines d'années d'expéditions scientifiques, deux millions d'espèces ont été découvertes dont un tiers provient des océans. Dans les océans, les récifs coralliens représentent une surface extrêmement faible, moins de 1% de la planète, mais ce sont les écosystèmes les plus diversifiés abritant plus de 25% de la vie marine et présentant une biodiversité égalant celle des forêts tropicales.

Ils sont l'un des derniers habitats prolifiques encore largement méconnus de la Terre et de la société, ils apportent de la nourriture à plus de 500 millions de personnes et supportent le développement d'une économie touristique estimée à 9,6 milliards de dollars par an. Les récifs coralliens ne sont pas juste utiles pour les populations insulaires, leur impressionnante biodiversité marine constitue une véritable pharmacie sous-marine offrant de nombreuses promesses pour la recherche

médicale. Des médicaments ont déjà été développés pour soigner le cancer, l'asthme et l'arthrite.

Emmanuelle Périé-Bardout et Ghislain Bardout ne veulent pas en rester là : « Au mois d'août 2019, nous porterons un nouveau défi, celui de la plongée à saturation dans l'observatoire sous-marin que nous avons conçu, la « Capsule », qui permettra aux plongeurs de l'expédition de séjourner sous l'eau pendant plusieurs jours. Installée sur la pente externe du récif de Moorea, nous allons en partenariat avec le Criobe poursuivre les études sur les coraux et notamment sur un moment clé de la vie du corail : sa reproduction sexuée.

La Capsule sera l'opportunité unique de surveiller le récif sur de longues périodes et de capturer ces moments éphémères de romance sous-marine, qui durent moins de 60 minutes. Elle permettra aussi de repousser nos limites des connaissances sur l'écologie du récif

durant ce moment clé qu'est la reproduction sexuée des coraux. En effet, pour une des premières fois, le comportement des organismes récifaux avant, pendant et après la ponte, sera observé pour mieux appréhender l'influence de cet instant hors du commun sur l'écologie du récif. »

Les plongeurs, scientifiques, marins, équipe de tournage, physiologistes et médecins hyperbares de l'expédition poursuivront les plongées profondes pour approfondir la connaissance du milieu mésophotique. « C'est une étape importante pour l'exploration scientifique que nous pensons indissociable de la recherche de demain. Face à l'urgence écologique, il est indispensable de mettre tout en oeuvre pour acquérir des connaissances qui nous permettront de mieux protéger les océans et de gérer leurs ressources de manière durable » concluent Emmanuelle Périé-Bardout et Ghislain Bardout.

* Criobe-CNRS / Université de Perpignan Via Domitia / École pratique des hautes études

** Museum of Tropical Queensland, Townsville (Australie)

EXPOSITIONS

Toutânkhamon, le Trésor du Pharaon



Pour ceux qui n'y seraient pas encore allés... À l'occasion du centenaire de la découverte du tombeau de Toutankhamon, les trésors inestimables qu'il contenait sont de retour à Paris pour la première fois depuis plus de 50 ans, avant d'être ensuite installés de façon permanente au Grand Musée Egyptien du Caire. Cette exposition propose de se concentrer sur l'interprétation et la signification rituelle de plus de 150 objets.

Jusqu'au 30 septembre 2019
Grande halle de la Villette
211, avenue Jean-Jaurès - 75019 Paris
Tél : 08 92 39 01 00
www.expo-toutankhamon.fr

La Cité de la Mer



© La Cité de la Mer_B. Almodovar

Avec son nouveau parcours permanent, « *L'océan du futur* », la Cité de la Mer vous embarque dans un voyage ludique hors du commun à la découverte du dernier territoire sauvage de la planète. Des espaces multimédias spectaculaires, 17 aquariums éblouissants de couleur et de vie (dont l'Aquarium Abyssal de 10,70m de profondeur)... les plus grandes créatures marines comme l'infiniment petit peuple du plancton sont présentés.

La Cité de la Mer
Gare Maritime Transatlantique Cherbourg-Octeville
50100 Cherbourg-en-Cotentin - Tél : 02 33 20 26 69
<https://www.citedelamer.com/espaces/locean-du-futur/>

Les 50 ans du Musée de l'Aurignacien



Ce musée dédié à la connaissance de la culture aurignacienne, caractérisant les hommes qui vécurent en Europe il y a environ 35 000 ans, est riche d'un ensemble de plus de 300 objets : armes, outils, éléments de parure, statuettes, blocs gravés, ossements d'animaux disparus... Et pourtant il n'a que 50 ans. Son exposition « *Enquête sur 50 ans d'histoire !* » nous propose de retracer les grandes étapes de cette aventure humaine et scientifique.

Jusqu'au 30 novembre 2019
Musée forum de l'Aurignacien
Avenue de Bénabarre - 31420 Aurignac
Tél : 05 61 90 90 72 - www.musee-aurignacien.com

Le nouveau Muséum de Bordeaux

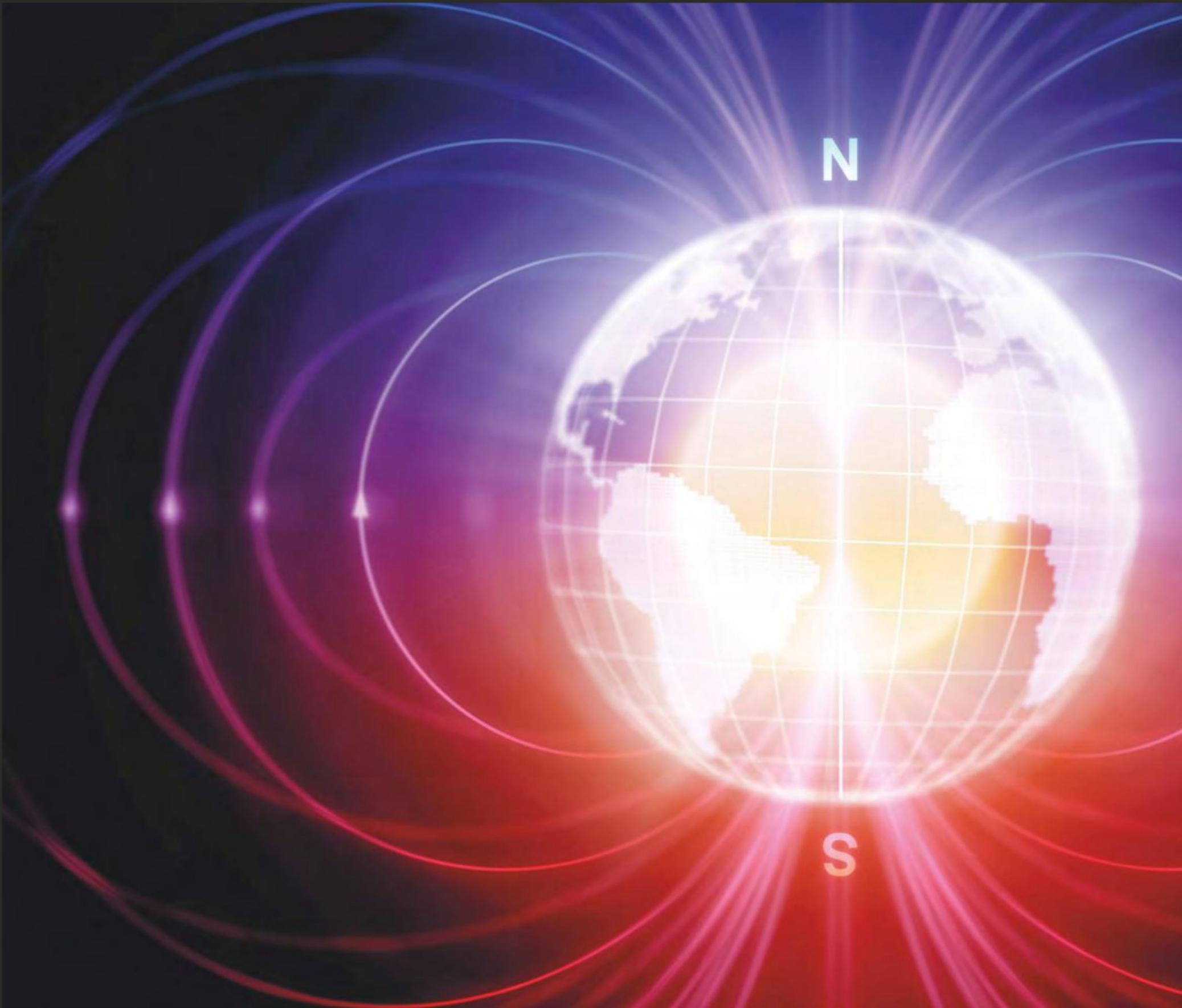


© F. Deval

Après 10 ans de fermeture pour rénovation et extension, le Muséum de Bordeaux vient de rouvrir ses portes. Son patrimoine scientifique est particulièrement remarquable : il réunit plus d'un million de spécimens ! Le nouveau parcours muséographique se déploie autour de la question de la place de l'Homme dans la nature. Spectacle multimedia, Musée des tout-petits... de nombreuses innovations vous y attendent.

Muséum de Bordeaux
5, place Bardineau - 33000 Bordeaux
Tél : 05 24 57 65 30 - www.museum-bordeaux.fr

Les pôles de la Terre vont



-ils bientôt s'inverser ?



Depuis 780 000 ans, le pôle Nord magnétique est dans l'Arctique. Pourtant, au cours des 20 derniers millions d'années, les inversions des pôles se produisaient généralement plus fréquemment. Les scientifiques envisagent donc la prochaine et une mission de l'Agence spatiale européenne cherche même à en fixer la date.

Mais quelles en seraient les conséquences ? Faut-il envisager l'apocalypse ? Ou s'agit-il plutôt d'un phénomène rare mais peu exceptionnel ? Des *Homo sapiens* vivaient sur Terre lors de la dernière : en ont-ils ressenti les effets ? Inutile de paniquer : nous devrions avoir le temps de nous « retourner »...

Nous vivons sur un gigantesque aimant

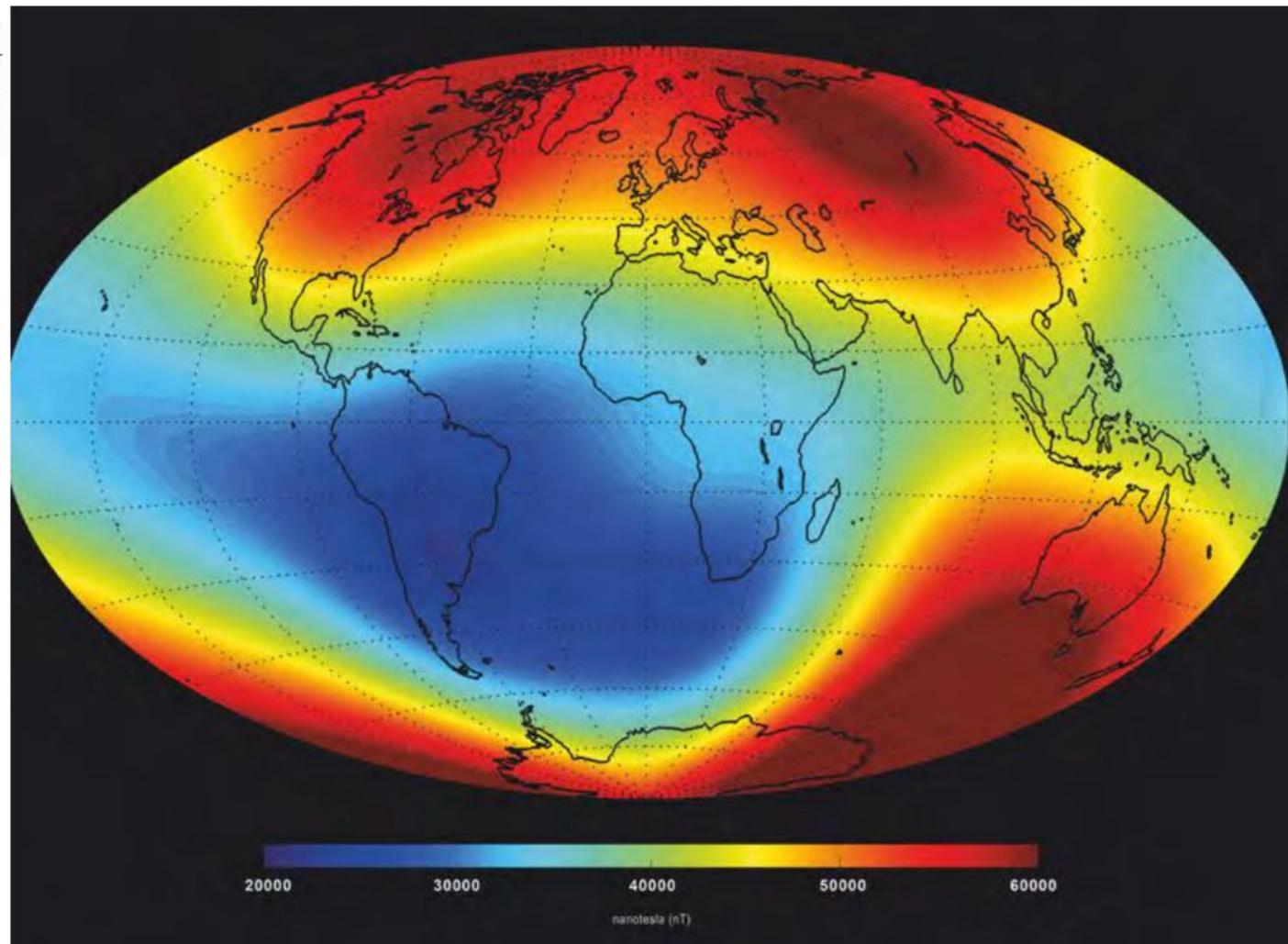
Le champ magnétique de la Terre est partout, tant dans les profondeurs terrestres que dans tout l'espace qui l'entoure. C'est lui qui nous protège contre les particules à haute énergie provenant du Soleil et de l'ensemble du cosmos. Grâce à lui, la vie est possible sur notre planète.

Mais d'où vient ce champ magnétique ? Essentiellement du noyau de la Terre, composé à 90% de fer liquide en fusion et considéré comme une gigantesque dynamo. Il s'y produit des mouvements de convection dus au refroidissement progressif du noyau et de la graine solide située au centre de la planète. Entre les mouvements du noyau externe et les courants électriques induits par rapport au noyau interne solide, le champ magnétique dipolaire serait généré, incliné d'environ 10 degrés par rapport à l'axe de rotation de la Terre.

Une petite partie du champ magnétique terrestre provient des roches aimantées de la croûte terrestre, et également de l'activité de la haute atmosphère.

Le champ magnétique terrestre est cependant très faible : de 30 à 60 microteslas (mT) en surface (tandis qu'il est de l'ordre de 0,3 mT à la surface du noyau terrestre, à 2900 km de profondeur). Il augmente en se rapprochant

© ESA/DTU Space



Le champ magnétique n'est jamais le même sur toute la surface de la Terre. Cette image a été obtenue à partir des données de la mission Swarm. En rouge, les zones où le champ magnétique est le plus important.

Le saviez-vous ?

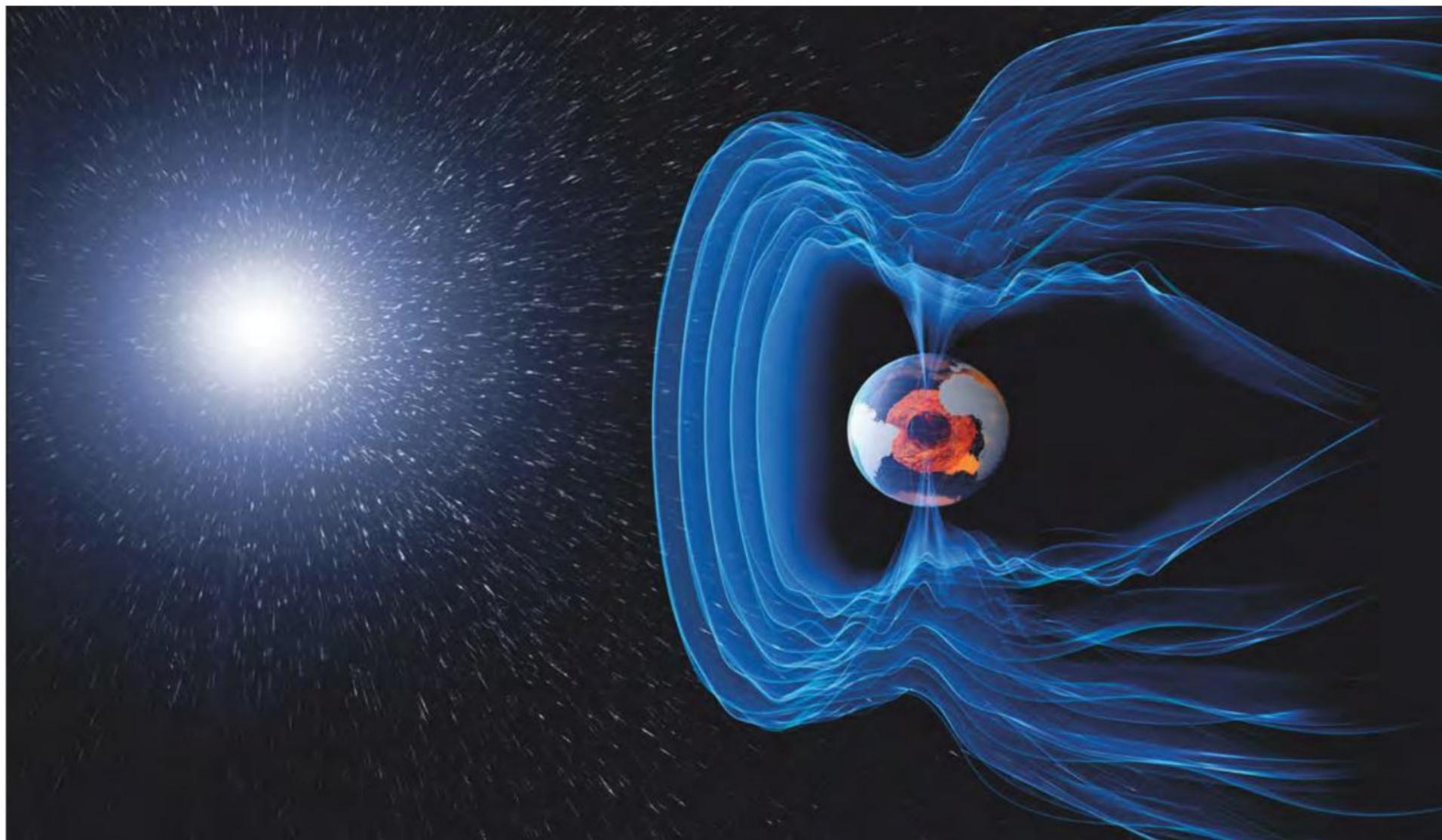
Rappelons que le pôle magnétique ne correspond pas exactement au pôle géographique. Ce dernier correspond au point de contact entre l'axe de la rotation de la Terre et la surface de la planète. Au contraire, la localisation du pôle magnétique est variable et se déplace de plusieurs dizaines de kilomètres par an. Et les deux pôles magnétiques ne sont d'ailleurs pas exactement opposés.

des pôles, et diminue vers l'Equateur. Pas de quoi nous alimenter en énergie : son intensité est 100 à 200 fois moins puissante que celle d'un petit aimant que l'on pose sur un réfrigérateur. Et pourtant, il protège efficacement notre planète des émissions mortelles du cosmos, formant un bouclier qui s'étend sur plus de 10 fois le rayon de la Terre.

En l'absence de cette protection, la vie sur notre planète ne se serait jamais développée. C'est elle qui a permis de maintenir l'atmosphère terrestre, contrairement à ce qui s'est passé sur Mars par exemple. Sur la planète

rouge, le champ magnétique n'étant pas assez important pour résister au vent solaire, celui-ci a emporté la majorité de l'atmosphère.

Tout événement extrême dans l'espace perturbe plus ou moins intensément ce champ magnétique, plus particulièrement la magnétosphère, c'est-à-dire la partie la plus externe du champ. Celle-ci est exposée au vent solaire, un flux de particules chargées provenant en permanence du Soleil. Les courants électriques de la magnétosphère modifient également le champ magnétique présent à la surface de la Terre.



© ESA/ATG mediastudio

Le champ magnétique et les courants électriques à l'intérieur et autour de la Terre génèrent des forces complexes qui ont un impact mesurable sur notre vie quotidienne. Ce champ peut être représenté comme une immense bulle qui nous protège des radiations cosmiques et des particules hautement chargées qui bombardent notre planète via les vents solaires.

Une mission européenne pour tout comprendre

Véritable bouclier protecteur, le champ magnétique terrestre empêche la partie dangereuse du rayonnement solaire d'atteindre la surface de notre planète, explique le CNES (www.cnes.fr). Sans cette armure, pas de vie.

L'activité du noyau de la Terre est à l'origine d'une grande partie de ce champ magnétique, mais d'autres sources - comme par exemple la croûte terrestre, l'ionosphère, la magnétosphère et même la circulation océanique - y contribuent aussi. Le problème des scientifiques est de distinguer ces différentes sources. C'est là tout l'objectif de la mission Swarm (« essaim » en anglais), lancée en 2013 : une mission de l'ESA, l'Agence spatiale européenne.

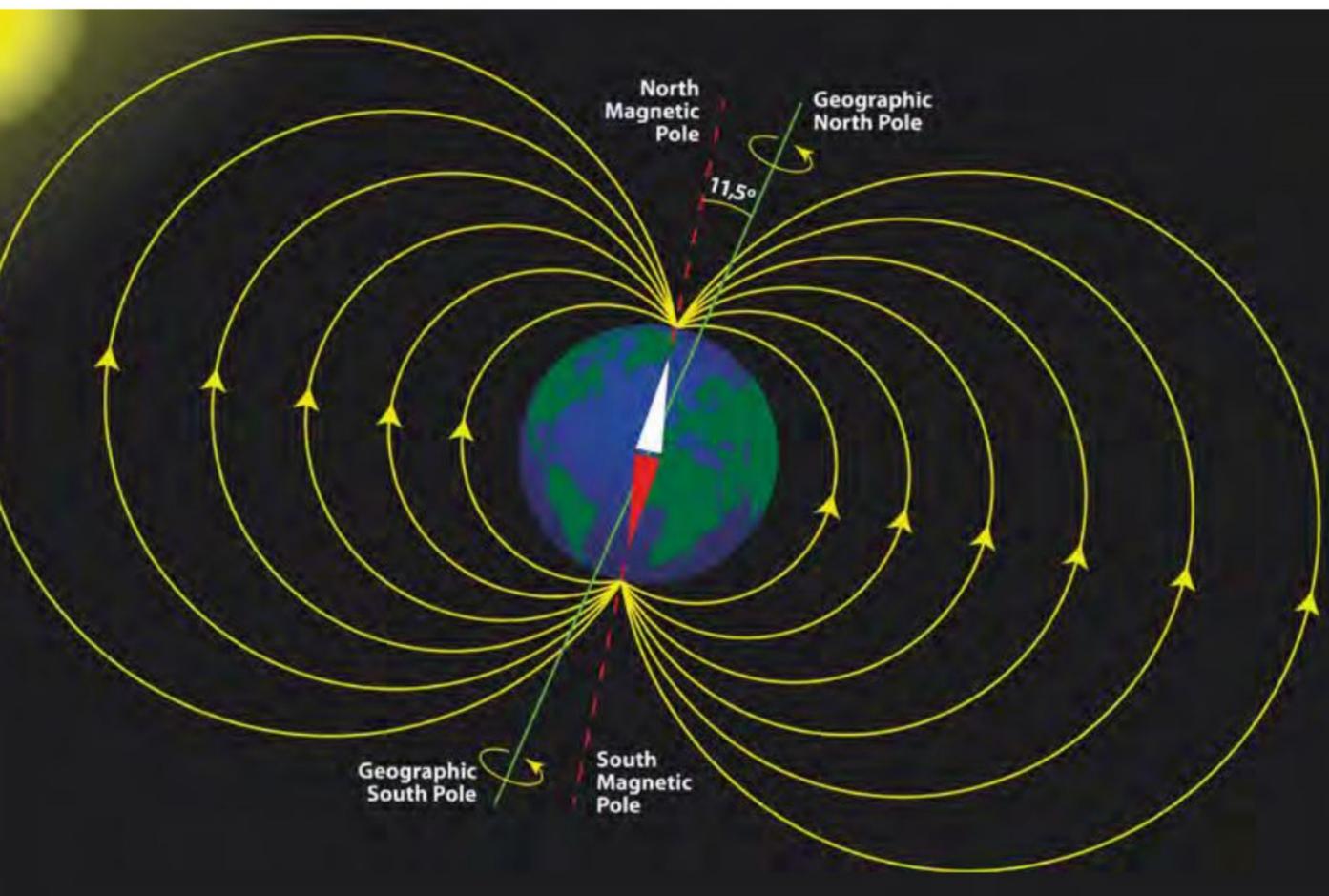
Un phénomène mystérieux et aléatoire

Notre planète a connu une inversion du magnétisme des pôles à plusieurs reprises. Ce phénomène est en effet récurrent dans l'histoire géologique terrestre. Cependant aucune périodicité n'a pu être observée : aussi la période de la prochaine inversion demeure-t-elle une énigme...

L'inversion des pôles se traduit de la façon suivante : la structure du champ (dominé par un dipôle, soit un pôle magnétique Nord et un pôle magnétique Sud) disparaît. Les pôles magnétiques se déplacent rapidement sur la surface du globe (on peut avoir 5, 10 à 20 pôles à la fois), se rapprochant notamment de l'Équateur, pendant plusieurs milliers d'années (de 1 000 à 10 000 ans). À ce moment, l'intensité du champ magnétique s'affaiblit considérablement, voire disparaît. Des transitions beaucoup plus accélérées ont cependant

pu être observées, jusqu'à 10 000 fois plus rapides : la dernière n'aurait peut-être duré que le temps d'une vie humaine. Puis la structure du champ renaît et les pôles permutent.

Mais quelles preuves a-t-on de ce phénomène ? En 1905, le géophysicien français Bernard Brunhes découvre que certaines roches volcaniques (une coulée de basalte dans le Cantal) ont été aimantées lors de leur refroidissement dans la direction opposée à celle du champ magnétique terrestre local. Il



Les pôles géographiques et les pôles magnétiques ne sont pas situés au même endroit.

est le premier à évoquer la possibilité d'une inversion de ce champ. L'analyse de l'aimantation des roches sédimentaires des fonds océaniques a mis en évidence ces inversions. De même pour l'analyse des glaces polaires.

La période géomagnétique dans laquelle nous vivons est dénommée de Bruhnes, dite de polarité normale. Elle dure depuis 780 000 ans. Tandis que la période précédente est dite de Matuyama, du nom du géophysicien

japonais qui a pu dater précisément la dernière inversion. Cette période était donc à polarité inverse. Mais la période de Bruhnes a été entrecoupée d'excursions géomagnétiques, qui démarrent comme des inversions mais ne conduisent pas finalement à un changement de polarité.

En dehors de l'instabilité du métal liquide du noyau terrestre, certains scientifiques évoquent une origine externe à ces

bouleversements, comme par exemple l'impact d'une comète. Cependant, la chute d'astéroïde qui a causé l'extinction des dinosaures il y a 66 millions d'années n'a pas eu pour résultat une inversion du champ magnétique terrestre. D'autres chercheurs privilégient des raisons internes telles que l'entrée de dalles continentales dans le manteau terrestre du fait de la tectonique des plaques.

Fin 2013 ont été lancés trois satellites de mesure géomagnétique de la mission Swarm, de l'Agence spatiale européenne. Le CEA-Leti (Grenoble), l'IPGP et le CNES ont, pour la France, participé à leur conception. La multiplication des simulations informatiques ainsi que cette mission nous permettent de mieux comprendre le mécanisme. Elles ont révélé la présence d'un grand tourbillon à la surface du noyau terrestre qui, à la manière d'un tapis roulant, transporte en permanence le champ magnétique des pôles vers l'Equateur au niveau de l'Asie, et de l'Equateur vers les pôles au niveau de l'Amérique.

Le saviez-vous ?

Le champ magnétique terrestre n'est pas le même de jour comme de nuit. Car durant la journée, la radiation solaire X et UV, absorbée dans les couches les plus hautes de l'atmosphère, produit des courants électriques.

Comment cela va-t-il se passer ?

Il semblerait que cet inversement se déroule en douceur : il faudrait plusieurs milliers d'années pour que le Sud et le Nord échangent leur position. Le pôle Nord magnétique retournera alors au pôle Sud géographique.

En 2012, des chercheurs de l'Institut de physique du globe de Paris (CNRS, Univ Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité) et de l'Université de Hawaii ont mis en évidence le comportement singulier, en trois étapes, des inversions du champ magnétique terrestre, remettant en cause les modèles précédents. L'étape intermédiaire responsable du basculement du champ magnétique du Nord au

Sud, ou inversement, s'avère particulièrement rapide : moins de 1000 ans.

Rappelons que le champ magnétique terrestre peut être comparé au champ engendré par un barreau aimanté situé au centre de notre planète. Pour l'essentiel, il s'agit en effet d'un dipôle magnétique dont les deux pôles sont situés aux extrémités d'un axe actuellement

incliné de 11,5 degrés par rapport à l'axe de rotation de la Terre. Cette partie dipolaire représente plus de 90% du champ magnétique total. Comme le soulignent les chercheurs, l'analyse du champ magnétique récent montre que la composante non dipolaire complémentaire (les 10% restants) possède quant à elle une structure plus complexe, et qui évolue rapidement dans le temps (de quelques

décennies à un ou deux siècles) en comparaison de la composante dipolaire (de quelques siècles à un millénaire).

Les inversions du champ magnétique se produisent à intervalles irréguliers pouvant varier de 100 000 ans à plusieurs millions d'années. Leur origine est d'abord liée à l'affaiblissement du dipôle qui décroît lentement pendant plusieurs dizaines de milliers d'années, avant de croître dans la direction opposée en quelques millénaires seulement.

La plupart des spécialistes s'accordent pour considérer que, lors de la transition, le champ n'est plus dipolaire et laisse place à un champ non dipolaire complexe et sans doute analogue au champ non dipolaire actuel. Mais en dépit d'efforts acharnés pour reconstituer les variations du champ pendant ces événements très brefs à l'échelle géologique, il n'existe pas encore de vision synthétique du phénomène, en raison des difficultés à trouver des roches capables de l'enregistrer avec fidélité. Pendant longtemps, les sédiments accumulés en continu au fond des océans ont été considérés comme le matériau idéal, mais leur aimantation complexe atténue le signal des variations rapides du champ, notamment celles qui sont liées au champ non dipolaire lors des inversions.

Les coulées volcaniques sont de meilleurs enregistreurs du champ magnétique que les sédiments, mais leur continuité dans le temps fait défaut. Comment suivre les variations passées du champ magnétique en analysant ce type de roches, alors que les éruptions volcaniques se produisent aléatoirement à la surface du globe ? Les chercheurs ont intégré sur une base de temps commune les données issues de 10 séquences de coulées volcaniques superposées. Ils ont alors observé que les variations du champ étaient en concordance lors des inversions enregistrées dans chaque séquence et dont les âges sont distribués entre 0,8 et 180 millions d'années.

En superposant l'ensemble des données de façon cohérente, ils ont ainsi montré que



Une Inversion des pôles magnétiques aurait des effets sur nos systèmes technologiques.

toutes les inversions se sont déroulées suivant le même schéma qui n'a pas changé depuis 180 millions d'années. Le processus se déroule en trois phases : un précurseur, le basculement lui-même, et un rebond.

Le précurseur et le rebond sont contrôlés par le champ non dipolaire, leur durée maximale ne dépasse pas 2 500 ans et la phase de transition elle-même dure au plus un millier d'années. Ce transit extrêmement rapide est la figure majeure du processus qu'il reste à comprendre. Pour les auteurs, il est sans doute associé à d'autres mécanismes que ceux qui régissent la variation séculaire ordinaire du champ non dipolaire. Une telle brièveté explique par ailleurs pourquoi il est très délicat d'obtenir des enregistrements détaillés et fidèles dans les sédiments et remet en cause la plupart des conclusions tirées de ces données. Cette structure dynamique des inversions

change notre vision du phénomène et constitue un nouveau défi pour les modèles théoriques et numériques de la dynamo terrestre.

Le saviez-vous ?

Selon les périodes, l'activité solaire varie. Lors des éruptions solaires se produit une augmentation brutale du rayonnement X et UV ainsi que de la vitesse du vent solaire. Cela peut déclencher sur Terre un orage magnétique. Les particules chargées en provenance de l'espace pénètrent dans le champ magnétique terrestre. On assiste alors à des aurores boréales et australes.

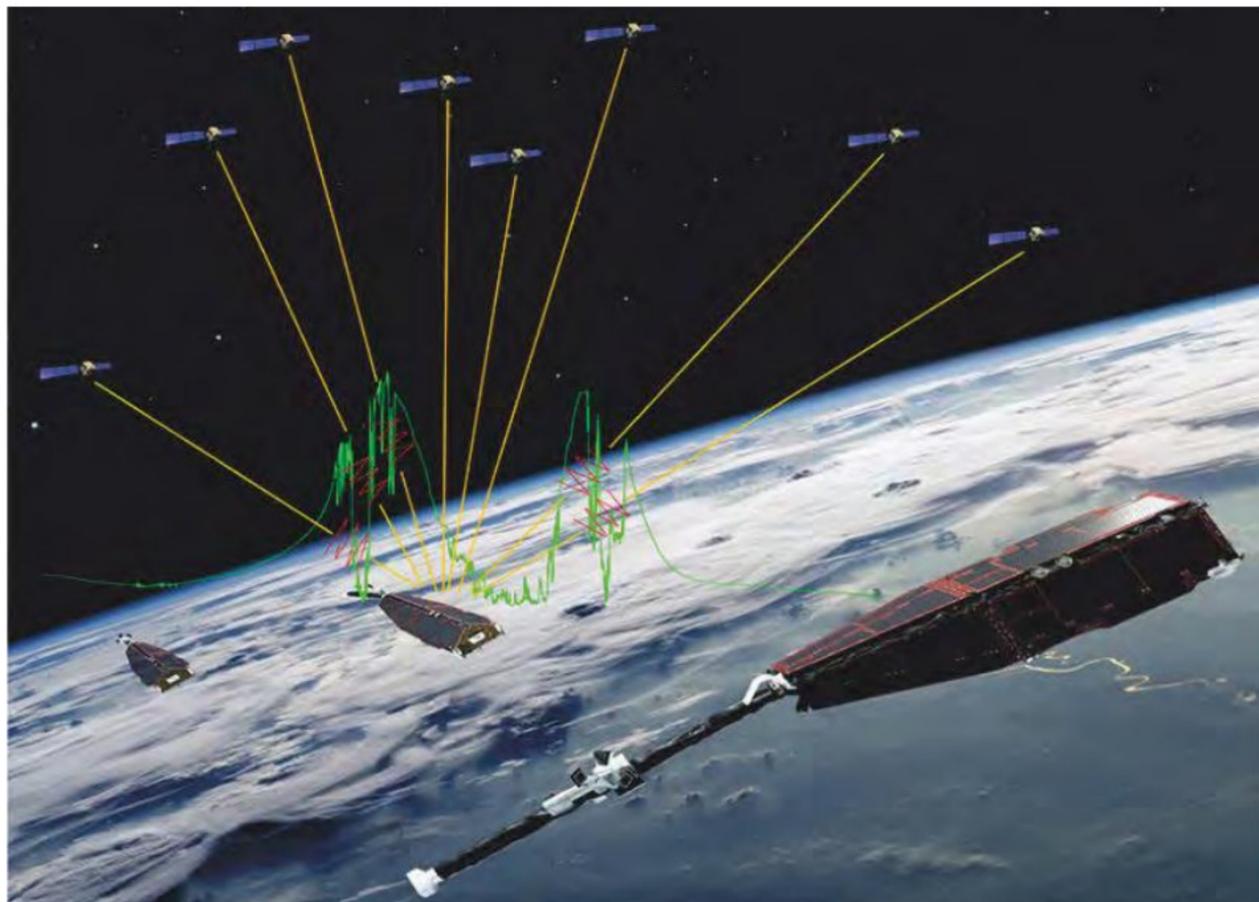
Quels sont les dangers pour l'homme ?

Aucun être humain ne pouvant témoigner de la dernière inversion, ses effets posent bien sûr question. A quoi peut-on s'attendre ?

Le point noir est, comme nous l'avons dit, les radiations cosmiques et solaires. Car pendant cette période de retournement, le champ magnétique de la Terre s'affaiblit, peut-être de façon irrégulière, et nous serions possiblement plus exposés à ces particules de haute énergie qui viendraient bombarder notre planète. Cependant la puissance de ce champ magnétique varie régulièrement sans que cela perturbe la vie sur Terre. Et aucune corrélation n'a pu être établie entre les inversions du champ magnétique terrestre et des extinctions de masse que notre planète a connues.

S'il se produit un fort affaiblissement du champ magnétique de manière durable, des grandes quantités de radiations reçues pourraient cependant engendrer une augmentation des cancers ou encore endommager les réseaux électriques et les engins spatiaux.

Toutefois, le bombardement de particules devrait être équivalent à celui reçu par le personnel navigant d'un avion, soit trois fois celui reçu sur Terre. Une dose qui demeure très



© ESA-ATG medialab (GFZ annotated)

Les signaux des satellites peuvent être interrompus (en orbite basse sont représentés ceux de la mission Swarm).

supportable, inférieure aux normes autorisées. Évidemment, les astronautes et les passagers

des avions recevraient des doses accrues. Toutefois, la couche externe de l'atmosphère de la Terre pourrait être sensiblement affectée et le trou d'ozone largement amplifié, d'où des risques alors certains de développer des cancers de la peau.

Les oiseaux migrateurs auraient leur boussole interne affectée, mais celle-ci ne leur sert que dans certains cas, lorsque tous leurs autres systèmes d'orientation ont disparu : et les expériences ont montré qu'ils étaient capables de s'adapter à un changement de champ magnétique, et cela relativement rapidement.

Par contre, des dommages sérieux pourraient être engendrés sur nos systèmes technologiques utilisant le champ magnétique. Comme le précise l'Institut de physique du

Les aurores boréales résultent des interactions entre les particules de haute énergie provenant du soleil et le champ magnétique de la Terre.



© Sherwin Cataluan

globe de Paris (www.igpp.fr), les effets devraient être les suivants : avaries de satellites, perturbations des systèmes de télécommunication (satellites, câbles sous-marins...), dégradation ou interruption des services de positionnement par satellite (GPS ou Galileo), courants induits dans les oléoducs accélérant leur usure, courants parasites dans les réseaux électriques susceptibles de provoquer des

pannes de courant sur des vastes régions... On se souvient des tempêtes solaires de 2003, pourtant de faible importance, qui provoquèrent l'arrêt du réseau électrique en Suède.

Toutefois, les experts estiment pour l'instant qu'une baisse de l'intensité du champ magnétique ne conduira pas partout sur la surface de la Terre à une augmentation des radiations.

On observe d'ailleurs aujourd'hui une anomalie magnétique (un champ plus faible) sur l'Atlantique Sud. Les satellites qui survolent cette région peuvent voir leurs instruments ou logiciels endommagés par un flux plus important de protons en provenance de l'espace.

Quand aura lieu la prochaine inversion ?

L'intensité du champ magnétique terrestre diminue actuellement de façon sensible et les pôles magnétiques se déplacent à une vitesse croissante. Se dirige-t-on vers une inversion des pôles ? L'un des objectifs de la mission Swarm est d'en prévoir la date.

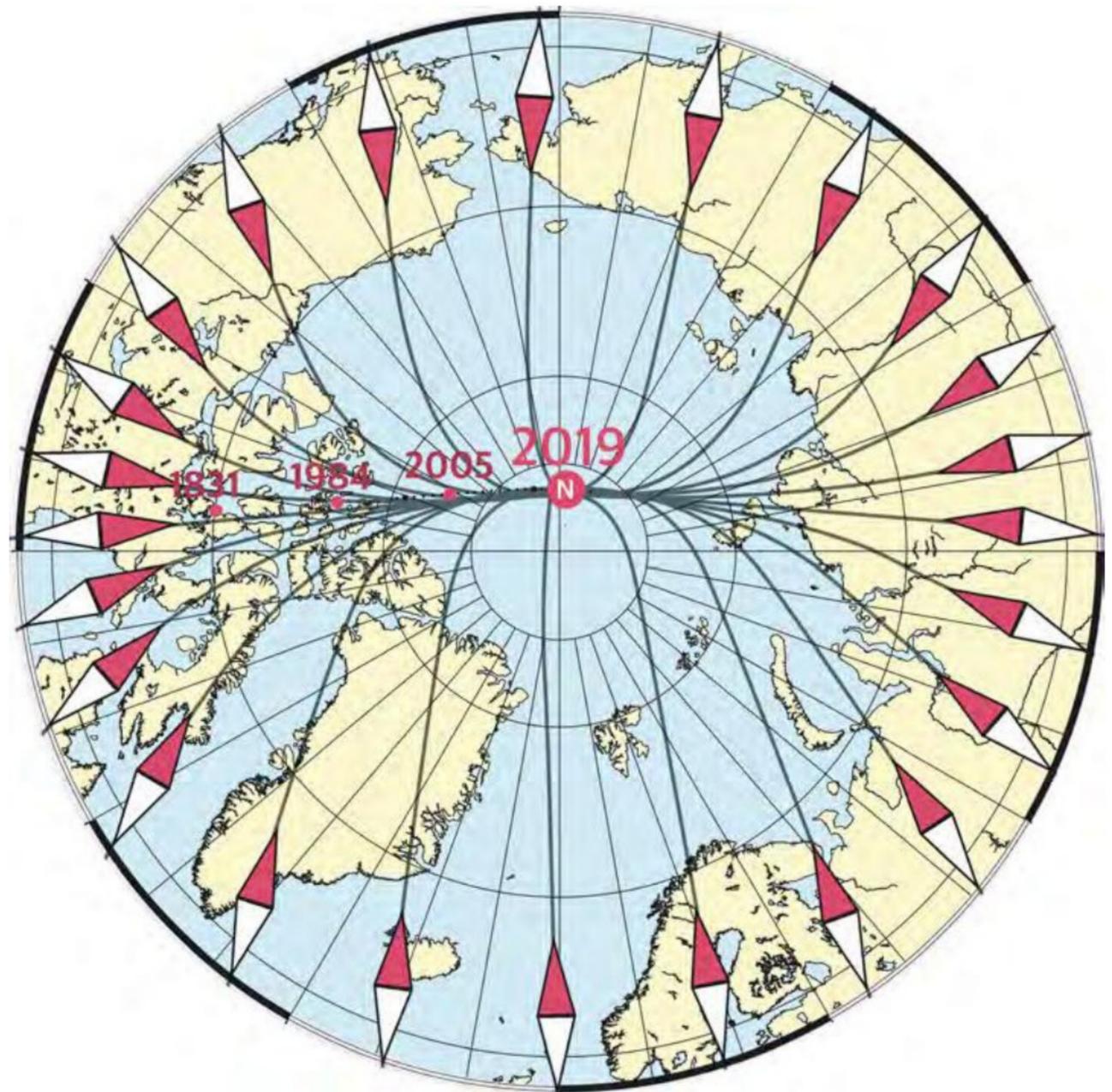
Le pôle Nord magnétique, qui se déplaçait à une vitesse de 10 à 15 km par an depuis près de deux siècles (il a été situé pour la première fois en 1831 par l'officier James Clark Ross), va à 55 km par an depuis les années 1990. Du Canada, il se rapproche de la Sibérie en passant à proximité du pôle Nord géographique. Quant au pôle Sud magnétique, il est depuis des décennies en mer et non sur l'Antarctique. Sa position se déplace au large de la Terre Adélie.

Quant à l'intensité du champ magnétique terrestre, c'est par exemple par l'étude de la magnétite dans des objets archéologiques (briques, poteries...) qu'on peut la mesurer au moment où l'objet a été fabriqué. On observe ainsi que cette intensité diminue depuis

Les dernières

« excursions » connues

La durée de l'excursion de Laschamp est estimée à environ 1500 ans. Celle du Mono Lake alla de 600 à 700 ans. Au cours de ces périodes, la position des pôles magnétiques était très mouvante sur la surface de la Terre et l'intensité du champ magnétique avait diminué drastiquement.



Depuis sa découverte en 1831, le pôle Nord magnétique a toujours bougé. Mais, alors qu'il y a 50 ans il allait à une vitesse de 15 km par an, il quitte désormais l'Arctique canadien et se dirige vers la Sibérie à une vitesse de 55 km par an.



Le pôle Sud magnétique est loin du pôle Sud géographique. Il se situe en mer au large de la Terre Adèle.

1500 ans. Cette décroissance s'est accélérée brusquement depuis près d'un siècle. Sur l'ensemble de la planète, les mesures de l'intensité confirment qu'elle s'est réduite de 10% en 50 ans. Mais est-ce l'annonce d'un bouleversement géomagnétique ou simplement d'une fluctuation du dipôle ?

Actuellement certains chercheurs estiment que, malgré cet affaiblissement d'intensité, le champ magnétique n'est pas prêt pour une inversion. Pour eux il s'agit d'une « excursion géomagnétique » et le champ retrouvera ensuite sa polarité normale.

D'autres scientifiques remarquent qu'il n'y a même pas excursion. En effet, les deux dernières excursions géomagnétiques connues sont celles de Laschamp, il y a 41.000 ans, et celle de Mono Lake, il y a 34.000 ans. Ces coulées de lave, prélevées dans la chaîne des Puys, ont pu être datées précisément. Il s'avère qu'à ces époques, les anomalies de champ

magnétique étaient beaucoup plus marquées qu'aujourd'hui.

Comme le souligne l'ESA, depuis qu'il a été mesuré pour la première fois en 1831, le Nord magnétique est sans cesse en mouvement. Mais sa tendance à errer s'est intensifiée récemment. Aussi le Modèle magnétique mondial (WMM) a dû être mis à jour de

façon urgente avec la nouvelle localisation du pôle. Cela est vital pour la navigation sur Smartphone, par exemple. La mission Swarm a joué un rôle clé pour cette actualisation.

Alors fluctuation, excursion, inversion ? Quoi qu'il en soit, la marche du monde ne devrait pas en être bouleversée !

Il a fallu revoir le Modèle magnétique mondial

Le Modèle magnétique mondial (WMM) doit tenir compte de toutes les fluctuations du champ magnétique terrestre. Il sert en effet aux systèmes de navigation maritime et aérienne en Arctique, ainsi qu'à certains systèmes de gestion militaire comme ceux de l'OTAN (du fait qu'il ne peut pas être brouillé). Aussi est-il très important de le mettre à jour régulièrement, ce qui s'effectue tous les 5 ans.

Mais le déplacement actuel particulièrement rapide du pôle Nord magnétique vient d'obliger les scientifiques à publier en urgence une nouvelle version du WMM début 2019.

Le champ magnétique du Soleil se renverse tous les 11 ans

Alors que les inversions du champ magnétique terrestre se produisent avec des intervalles de centaines de milliers d'années, il n'en est pas de même pour les étoiles. En 2017 était découverte pour la première fois une loi d'échelle pour la période du cycle magnétique d'une étoile, notre Soleil.

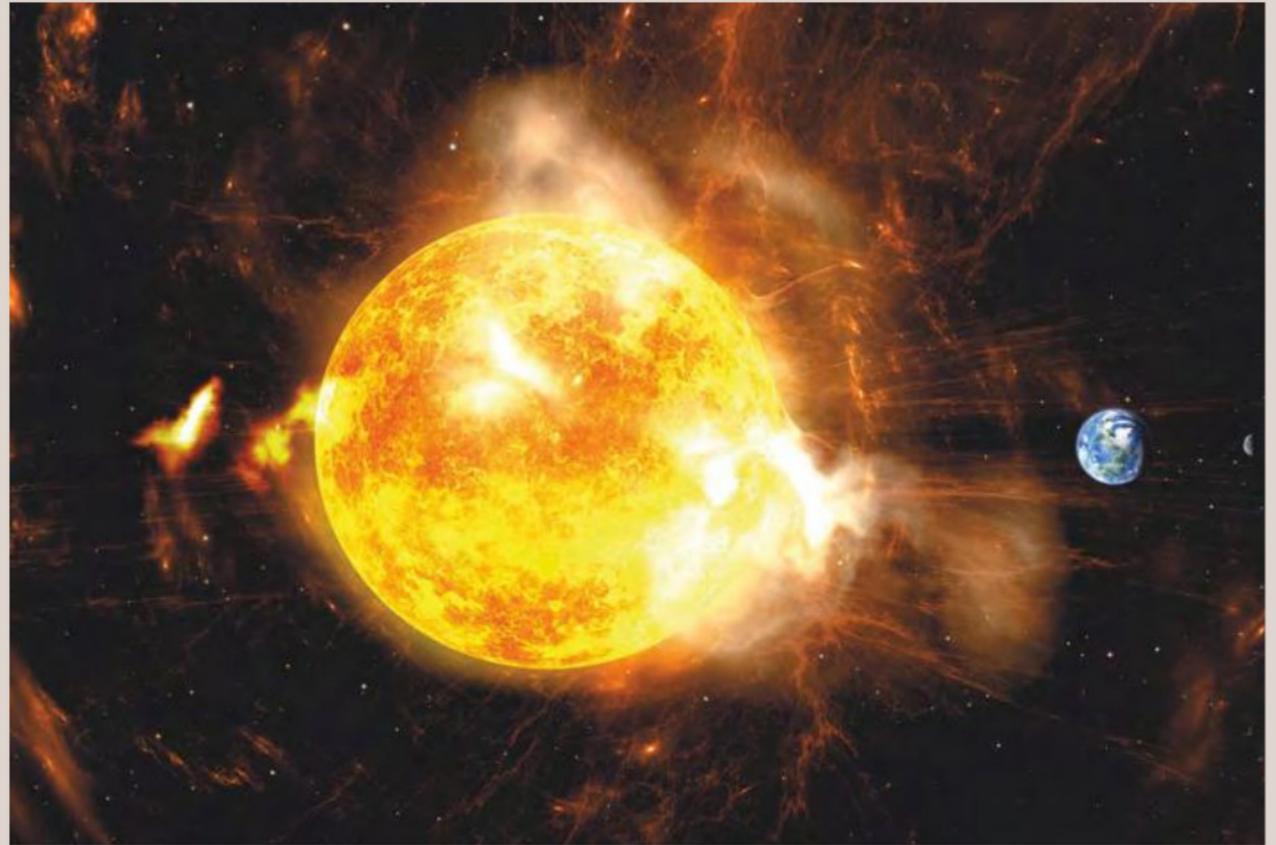
Comme celui des planètes, le champ magnétique des étoiles est engendré par les mouvements convectifs turbulents du fluide conducteur présent dans leur cœur (par effet dynamo*). Grâce à de nouvelles simulations numériques, une collaboration internationale incluant des scientifiques du CEA, du CNRS et de l'Université Paris Diderot explique pourquoi le champ magnétique du Soleil se renverse tous les 11 ans.

La découverte d'une loi d'échelle pour la période du cycle magnétique d'une étoile est une première mondiale et permet de mieux appréhender les phénomènes violents de météorologie spatiale. Elle a pu être faite grâce aux grands calculateurs GENCI, PRACE et ComputeCanada.

En effet, ce renversement s'accompagne de phénomènes éruptifs très énergétiques. Des quantités colossales de matière sont éjectées dans l'espace. Des taches sombres apparaissent sur le Soleil qui modifient la quantité de lumière reçue sur notre planète, et donc le climat. Il peut en résulter une dégradation des systèmes électriques et de communications sur Terre ou à bord de satellites.

Les scientifiques ont mis en évidence l'existence d'une rétroaction forte entre le champ magnétique de l'étoile et les écoulements qui l'animent, dont un important « profil de rotation interne ». Les modulations temporelles de cette rotation interne déterminent en définitive la période du cycle.

Si on zoome sur le cœur du Soleil, on observe aussi au sein du fluide conducteur, en plus de mouvements à grande échelle, un écoulement



La Terre est affectée par les éruptions solaires.

turbulent multi-échelles, issu de l'instabilité de la convection. Celui-ci est localisé dans la coquille sphérique externe de notre étoile, de 0,7 rayon solaire jusqu'à la surface. L'ensemble de ces deux types d'écoulements, à grande échelle et multi-échelles, joue un rôle essentiel dans la restructuration périodique du champ magnétique le long des méridiens et des parallèles. Un mécanisme complexe, aujourd'hui bien compris, permet ainsi « d'auto-entretenir » un champ magnétique global de grande échelle. Dans certains cas, comme pour le Soleil, ce champ magnétique global oscille sur une période décennale. Grâce à leurs simulations, les chercheurs ont pu montrer que la rotation de l'étoile influence l'efficacité du transfert d'énergie (non-linéaire) entre certains écoulements à grande échelle

et le champ magnétique. Ce phénomène détermine ultimement la période du cycle, qui décroît avec le nombre de Rossby**, un nombre sans dimension très utilisé en dynamique des fluides géophysiques.

D'autres étoiles présentent aussi des cycles magnétiques, d'une année à plusieurs dizaines d'années. Grâce à différents programmes d'observations, les chercheurs disposent aujourd'hui d'informations sur la durée des cycles magnétiques d'étoiles de type solaire, dont ils connaissent souvent la luminosité avec une bonne précision, en plus de leur rotation et de leur cycle magnétique. En observant de plus en plus d'étoiles, les astrophysiciens espèrent affiner ce nouveau scénario de l'origine du cycle magnétique des étoiles.

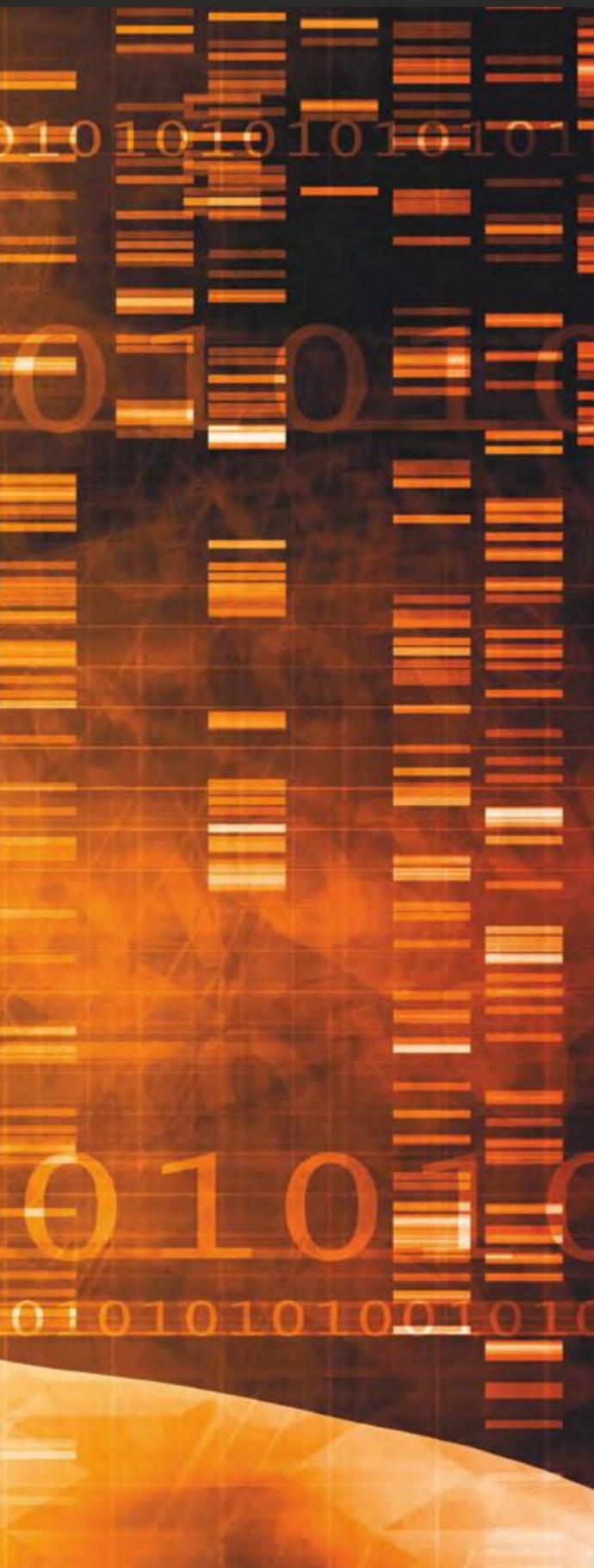
* L'effet dynamo consiste en la génération spontanée d'un champ magnétique au sein d'un liquide conducteur en mouvement.

** Le nombre de Rossby mesure le rapport entre les forces d'inertie et la force de Coriolis qui s'applique à un fluide dans un repère tournant. Un faible nombre de Rossby correspond à une situation où l'effet de la rotation (Coriolis) domine l'advection du fluide, comme dans le cas par exemple de la circulation océanique globale sur Terre.

Médecine du futur : selon traitement !



son ADN, à chacun son



Concevoir une médecine personnalisée grâce à la génomique, tel est l'un des objectifs de la médecine du futur.

En effet, la démocratisation du séquençage du génome humain ouvre la voie à des traitements adaptés au profil génétique de chacun. Les premiers bénéficiaires de cette nouvelle médecine sont les patients atteints de maladies rares et de certains cancers. Avec le CEA, partons à la découverte de cette révolution médicale qui s'annonce...

Un traitement classique est loin d'être efficace pour tous

Depuis peu, les médecins se rendent compte des limites de la démarche consistant à donner le même traitement à différents patients atteints d'une même maladie. En effet, les taux de réponse aux traitements traditionnels varient entre 20 et 80%. Les différences génétiques individuelles peuvent être plus ou moins responsables de l'efficacité des traitements.

Analyser l'ADN pour trouver le ou les gènes responsables d'une maladie permettrait d'établir des diagnostics et pronostics plus sûrs. En 2016, les gènes responsables de plus de la moitié des 7275 maladies monogéniques recensées ont ainsi été identifiés. Pour les maladies rares, l'identification des gènes à leur origine permettrait également de développer de nouveaux traitements.

Les chiffres sont conséquents : plus de 7000 maladies rares sont décrites à ce jour, dont 80% ont une origine génétique. Au sein de l'Union Européenne, une maladie est dite rare lorsqu'elle affecte moins d'une personne sur 2000. Ces maladies concernent 15 à 20 millions de personnes en Europe, dont près 4 millions en France. La majorité de ces pathologies sont aussi dites « orphelines » parce que les populations concernées ne bénéficient pas de traitement. Les maladies rares se caractérisent par une grande diversité de signes cliniques qui varient non seulement d'une maladie à l'autre, mais également d'un patient à un autre atteint de la même maladie.

La médecine génomique personnalisée...

... permettra d'une part au médecin d'établir les traitements ciblés directement sur le patrimoine génétique de chaque personne ; d'autre part, pour les maladies monogéniques, de développer de nouvelles thérapies qui corrigent l'ADN pour soigner les cellules malades.



Dans le cas du cancer, selon les altérations génétiques identifiées, on va mettre en œuvre des thérapies ciblées. Grâce à la génomique, les différents traitements possibles peuvent être testés sur les cellules tumorales du patient, cultivées *in vitro*. Séquencer l'ADN des cellules tumorales peut également permettre de trouver le traitement le plus efficace.

Ces performances ont été rendues possibles grâce au perfectionnement en temps et coût du séquençage et du génotypage de l'ADN. Il est en effet nécessaire de rassembler une importante base de données de génomes de personnes saines ou malades afin de séquencer, analyser et comparer les données. On peut ainsi identifier de façon pertinente les marqueurs génétiques qui permettront de proposer des traitements adaptés aux patients.

Les enjeux technologiques

L'essor de la génomique est dû à l'industrialisation, la miniaturisation, l'automatisation par la robotique et la baisse des coûts du séquençage haut débit : en 2003, la communauté internationale découvrait le premier séquençage d'un génome humain, obtenu après 13 années d'efforts pour 3 milliards de dollars.

Aujourd'hui, le même travail nécessite 3 jours et demi pour environ 1000 euros !

Objectif : séquencer 300 000 génomes complets par an

Que chaque malade puisse accéder à l'analyse de son génome, tel est l'objectif du Plan France Médecine Génomique 2025. Lancé en juin 2016 par les pouvoirs publics et piloté par l'Alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé (Aviesan), ce plan porte de grandes ambitions.

Il envisage notamment de connecter 12 plateformes de séquençage à très haut débit réparties sur le territoire français. L'objectif est de multiplier par 20 la capacité française de séquençage pour arriver à l'horizon 2025 à séquencer l'équivalent de 300 000 génomes complets par an.

Big Data

Il faut près de 100 gigaoctets pour décrire un génome humain. Au CEA, les équipes du CNRGH peuvent séquencer 100 génomes en parallèle en 3 jours. Ce faisant, elles produisent 30 à 50 téraoctets de données par jour. Elles s'appuient sur le très grand centre de calcul du CEA (TGCC), à Bruyères-le-Châtel.

Le plan prévoit également la mise en place d'un collecteur analyseur de données (CAD). Celui-ci recueillera l'immense volume d'informations produit par les séquenceurs ainsi que toutes les données cliniques du patient (caractéristiques, parcours de soins, environnement). Il s'agit de constituer à l'échelle nationale des familles numériques de patients semblables, de la même manière qu'un médecin construit sa propre mémoire



sur telle ou telle pathologie, mais avec le CAD la mémoire sera mutualisée entre tous les médecins et tous les patients. Assorti de puissants algorithmes de traitement de données et de statistiques, le CAD sera un outil d'aide à la décision à l'usage du médecin, en lui proposant, grâce à des modèles numériques prédictifs, la démarche thérapeutique la plus adaptée à son patient.

Implanté à Evry sur le campus Genopole, le CNRGH (Centre National de Recherche en Génomique Humaine) du CEA, dirigé par le Dr Jean-François Deleuze, est l'un des plus importants centres européens de génomique

humaine. Il est impliqué notamment dans le décryptage des causes génétiques des maladies rares, l'étude des bases génétiques de l'autisme, ou encore les causes génétiques de la toxicité des traitements du cancer du sein. Il s'est engagé aujourd'hui dans la production de données sur la population française.

Notamment le centre produit annuellement des dizaines de génomes complets de familles atteintes de maladies rares et a identifié des gènes qui ont permis l'établissement de diagnostics.

Etudier le génome des fondateurs du Québec

A noter que la génétique va tirer profit de l'origine française de nombreuses familles québécoises. En étudiant leur patrimoine génomique, les chercheurs du CEA-CNRGH et de Génôme Québec espèrent identifier les variations responsables de certaines maladies rares.



Chaque individu est unique : Il résulte de son code génétique.

Petit rappel sur l'ADN

Chaque individu est unique. Les particularités de chacun sont essentiellement explicables par l'ADN qui, comme un plan d'architecte, codifie tout notre organisme. Mais il n'est pas figé et peut évoluer sous l'influence de son environnement.

L'ADN code également les risques de développer certaines maladies. Il impacte l'efficacité de certains traitements, notamment contre le cancer. Mais la connaissance de l'ADN des individus n'est pas le seul facteur à considérer pour comprendre notre organisme.

Le CEA-CNRGH nous rappelle des notions de base sur ce sujet.

Qu'est-ce que l'ADN ?

L'ADN se trouve dans la plus petite unité du vivant : la cellule. En son cœur est rassemblé l'ensemble de nos caractères héréditaires : le génome. Une molécule d'ADN ressemble à une échelle qui s'enroule sur elle-même. Chaque barreau de cette échelle est constitué de deux petites molécules différentes, appelées bases ou nucléotides. On en dénombre 4 différentes : adénine (A), thymine (T), cytosine (C) et guanine (G). Elles sont dites complémentaires car elles s'apparient toujours de la même façon (A avec T et C avec G). Ce code génétique est universel à tous les êtres vivants.

Déroulé, l'ADN mesurerait 1 mètre de haut et serait 1 000 fois plus fin qu'un cheveu. Lors de la division cellulaire, l'ADN se compacte et s'organise en bâtonnets, appelés chromosomes. Leur nombre varie d'une espèce à l'autre. L'Homme possède 46 chromosomes répartis en 23 paires : 22 paires d'autosomes et 1 paire de gonosomes ou chromosomes sexuels, appelés X et Y. Les hommes possèdent un chromosome X et un chromosome Y. Les femmes possèdent 2 chromosomes X. L'analyse des chromosomes humains permet par exemple de connaître le sexe d'un individu ou de détecter certaines maladies génétiques comme la trisomie 21 (possession de 3 copies du chromosome 21).

Quel est le rôle de l'ADN dans l'organisme ?

Certains enchaînements de nucléotides dans l'ADN fournissent des instructions qui commandent la synthèse de protéines ; ce sont les gènes. Unités de base de l'hérédité, ils déterminent ce que nous sommes et comment nous fonctionnons (couleur des yeux, groupe sanguin...). Il en existe environ 21 000 chez l'Homme.

Qu'est-ce qu'une mutation de l'ADN ?

Avec le temps, l'ADN peut évoluer lors de la création de nouvelles cellules ou en réponse à son environnement.



L'environnement peut causer des mutations de l'ADN.

Lorsqu'elle se divise, la cellule déclenche le processus de réplication de l'ADN pour en obtenir une copie. De temps en temps, le système produit quelques erreurs : ce sont les mutations. Le plus souvent, elles sont sans conséquence, puisqu'elles ont lieu dans les 98% du génome qui ne codent pas pour la synthèse d'une protéine. D'autres mutations, en revanche, peuvent modifier la composition ou la quantité d'une protéine et être à l'origine d'une maladie génétique.

D'autres sources, environnementales ou liées aux activités de l'Homme, peuvent également modifier l'ADN. Les facteurs mutagènes sont :

- ▀ **Biologiques.** Dans la nature il existe des agents biologiques particulièrement efficaces, les virus, dont certains peuvent tuer leur hôte.
- ▀ **Physiques.** Les rayons UV, X et la radioactivité sont des agents physiques qui adoptent une méthode radicale : ils cassent la molécule d'ADN.
- ▀ **Chimiques.** Ils sont très nombreux, par exemple : le benzo-pyrène, présent dans la fumée de cigarette, le trichloréthylène, utilisé comme solvant dans les pressings...

Traiter autant la déficience intellectuelle que le cancer

Defidiag, sur la déficience intellectuelle, et Multipli, sur certains cancers, sont deux projets pilotes du Plan France Médecine Génomique 2025. Deux autres projets portent sur les diabètes et sur le séquençage de la population générale.

Pour ces projets, le CEA-CNRGH est chargé d'assurer le séquençage et le traitement des données qui visent à évaluer les bénéfices de la génomique dans le développement de la médecine du futur.

Dans le cadre du projet Defidiag, piloté par l'Inserm et dont le but consiste à identifier les causes génétiques de déficiences intellectuelles, le CNRGH est chargé du séquençage des génomes complets de 1277 de patients atteints de déficience intellectuelle, dont 50% non investigués antérieurement, ainsi que de leurs parents. Les résultats devraient être disponibles fin 2019. Ils permettront d'évaluer

La déficience intellectuelle (DI)...

...est la cause la plus fréquente de recours aux centres génétiques pédiatriques. Elle se caractérise par une hétérogénéité génétique extrême qui complique l'identification de la cause de la DI, première étape pour un suivi approprié et un conseil génétique.

l'impact de ce séquençage sur l'errance diagnostique des familles, la modification de leur prise en charge et de son coût, ainsi que l'identification des avantages/difficultés pour les patients et leur famille.

Pour le projet Multipli, piloté aussi par l'Inserm et qui a pour objectif d'identifier de nouvelles molécules pour la thérapie ciblée de cancers, le CEA-CNRGH est chargé du séquençage et du traitement des données génétiques. Il s'agit de séquencer environ 2400 personnes pour évaluer l'apport de la médecine génomique dans la mise au point de traitements personnalisés sur certains cancers. Le projet regroupe deux essais cliniques sur le soin des sarcomes métastatiques des tissus mous (MULTISARC) et des carcinomes colorectaux (ACOMPLI).

Sur la base des informations génétiques collectées et interprétées, des laboratoires pharmaceutiques industriels, français et internationaux, pourront proposer une molécule en adéquation avec les altérations génomiques ciblées. L'étude devrait permettre de réaliser une évaluation exhaustive des caractéristiques génétiques tumorales de chaque individu, et

Une compétition mondiale sur la génomique

Les États-Unis, le Royaume Uni et la Chine ont lancé des plans nationaux ambitieux au cours des deux dernières années. Dans ces pays, de nombreux acteurs industriels se mobilisent pour déployer des solutions technologiques dédiées à la médecine génomique et à la gestion des données numériques massives associées.

En Europe, plusieurs pays ont commencé à intégrer la médecine génomique dans leur système de santé. C'est le cas de l'Estonie, des Pays-Bas et de la Slovénie. Le risque de voir se développer un tourisme médical vers des pays offrant ce type de service existe, et avec lui celui d'une aggravation des inégalités de santé.

par la suite d'identifier les sous-groupes de patients les plus susceptibles de bénéficier d'une thérapie ciblée.

Une première mondiale en thérapie génique

De son côté, l'Institut François Jacob du CEA est impliqué dans deux résultats importants. Le premier a permis d'observer la rémission des signes de la drépanocytose chez le premier patient au monde traité par thérapie génique dans ce domaine.

Qu'est-ce que la drépanocytose ? Il s'agit d'une forme grave d'anémie chronique d'origine génétique, caractérisée par la production d'une hémoglobine anormale et de globules rouges déformés (falciformés), dus à une mutation dans le gène codant pour la β -globine. Cette maladie entraîne des épisodes de douleurs très importantes provoqués par des crises vaso-occlusives. Elle cause également des lésions de

tous les organes vitaux, une grande sensibilité aux infections, ainsi qu'une surcharge en fer et des troubles endocriniens.

7% de la population mondiale serait touchée par les hémoglobinopathies. Parmi elles, la drépanocytose est considérée comme la plus fréquente avec 50 millions de personnes porteuses de la mutation - ayant un risque

de transmettre la maladie - ou atteintes. Les anomalies génétiques de la β -globine, drépanocytose et β -thalassémie, sont les maladies héréditaires les plus répandues dans le monde, plus fréquentes que toutes les autres maladies génétiques additionnées.

Une équipe dirigée par le Pr. Marina Cavazana a réalisé à l'hôpital Necker-Enfants

malades, AP-HP et à l'Institut Imagine (AP-HP/Inserm/Université Paris Descartes), en octobre 2014, une thérapie génique dans le cadre d'un essai clinique chez un patient de 13 ans atteint de drépanocytose sévère. Mené en collaboration avec le Pr. Philippe Leboulch (Institut François-Jacob du CEA/Facultés de médecine de l'université Paris-Sud et de l'université d'Harvard), qui a mis au point le vecteur utilisé et a dirigé les études précliniques, ce traitement novateur a permis la rémission complète des signes cliniques de la maladie ainsi que la correction des signes biologiques.



Médecine personnalisée : un résultat décisif

Le second résultat concerne des malades atteints de bêta-thalassémie. Une maladie invalidante qui peut requérir des transfusions de sang régulières.

Il était urgent de s'intéresser à la bêta-thalassémie, car c'est l'une des maladies génétiques monogéniques les plus fréquentes. Elle est causée par plus de 200 mutations du gène de la bêta-globine (HBB) et touche près de 288 000 personnes dans le monde avec 60 000 nouveaux cas par an. Elle entraîne une anémie plus ou moins sévère. Dans sa

forme majeure, la bêta-thalassémie nécessite des transfusions mensuelles, et un traitement contre l'effet délétère des dépôts de fer causés par ces transfusions. Celles-ci n'ont qu'un effet palliatif.

Le traitement curatif proposé à ces patients est en général une greffe de cellules de moelle

osseuse. Mais encore faut-il pour cela qu'il ne présentent pas un état clinique trop fragile et qu'ils aient un donneur compatible dans leur fratrie : ce qui n'est possible que dans environ 25% des cas. De plus, les taux de succès sont inégaux et les patients demeurent vulnérables aux infections dans les mois qui suivent la greffe et à la « maladie du greffon contre l'hôte ».

En avril 2018 étaient publiés les résultats intermédiaires d'un essai clinique conduit par la Pr. Marina Cavazzana et ses équipes à l'Hôpital Necker, en collaboration avec l'Institut Imagine, ainsi que ceux d'un essai international mené aux Etats-Unis, en Thaïlande et en Australie. Ils montraient que la thérapie génique est efficace pour améliorer l'état de santé ou guérir les patients atteints de bêta-thalassémie. Ces deux essais cliniques ont utilisé le même vecteur thérapeutique « LentiGlobin », développé à l'université d'Harvard à Boston et à l'Institut François-Jacob du CEA par le Pr. Philippe Leboulch.

À l'Hôpital Necker, les malades traités produisent désormais une hémoglobine thérapeutique en quantité suffisante pour arrêter le recours aux transfusions sanguines mensuelles.



Nous ne sommes pas qu'un génome...

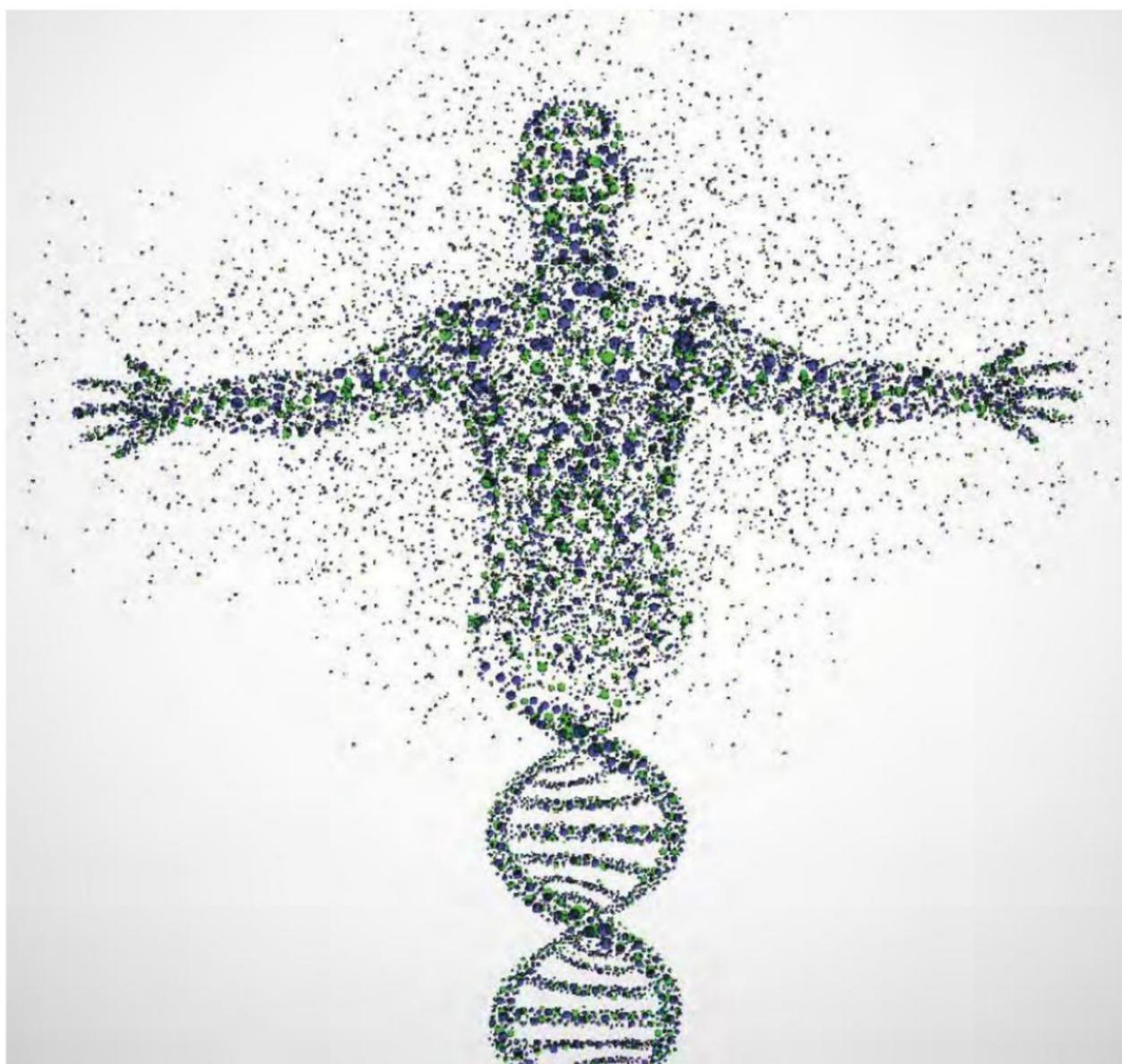
La seule compréhension du génome humain ne suffit cependant pas. L'être humain est un écosystème constitué de son génome mais aussi du génome des bactéries qui le colonisent (son microbiote). Donc, pour aller plus loin, il faut prendre en compte l'épigénétique et la métagénomique (mécanismes qui agissent sur l'expression de l'ADN). Là encore, l'analyse poussée des données d'un grand nombre de patients est nécessaire. Enfin, toute intervention sur le génome engendre des problèmes éthiques.

Complémentaire à la génétique, l'épigénétique donne une vue plus complète de la machinerie cellulaire et révèle une surprenante complexité dans les régulations de l'expression génique. Elle ouvre des perspectives dans la compréhension et le traitement de nombreuses maladies.

L'épigénétique établit le lien entre les caractères observables (phénotypes) et l'ensemble des gènes (génotypes). Elle permet, par exemple, d'expliquer la différence entre une cellule du foie et un neurone alors que toutes les deux renferment le même patrimoine génétique. En fait, l'épigénétique joue le rôle de chef d'orchestre en indiquant pour chaque gène à quel moment et dans quel tissu il doit s'exprimer.

Suite à la découverte des premiers mécanismes épigénétiques qui régulent l'expression des gènes, les chercheurs ont appris à désactiver l'expression d'un gène à des fins thérapeutiques.

D'autre part, si le génome donne de nombreuses informations sur un individu, le fonctionnement de nos cellules et de notre corps est également influencé par les quelques centaines de milliards de bactéries qui le colonisent. L'ADN de toutes ces bactéries correspond au métagénome. L'analyse du métagénome d'un individu est importante car celui-ci influence le développement de certaines maladies comme le diabète, l'obésité ou encore certains cancers. De nouvelles thérapies reposent d'ailleurs sur la métagénomique pour soigner certains cancers.



Veut-on vraiment connaître les risques d'avoir une maladie ?

L'analyse de l'ADN permet de connaître les prédispositions génétiques d'un individu sur de nombreuses maladies. Mais on peut se demander s'il est préférable de vivre dans l'ignorance ou connaître les risques de développer une maladie génétique ?

Actuellement, en France, seuls des tests ciblés sur des gènes qui pourraient être responsables de maladies sont réalisés sur prescription médicale.

Tous nos remerciements à François Sigaux, Directeur scientifique de la recherche fondamentale au CEA, et Jean-François Deleuze, Directeur du Centre National de Recherche en Génomique Humaine du CEA.

Un été scientifique à

©Cité de l'espace / Auteur Manuel Huynh



© Simon Cohen



travers la France

Grotte Saint-Marcel - © Rémi Flament



Grotte Saint-Marcel - © Rémi Flament

© David Gallard_LVAN



Savez-vous qu'il est possible de marcher sur la Lune à Toulouse ? De faire de la SpéléOenologie® en Ardèche ? De découvrir les abysses à Brest ? Ou encore de chevaucher des animaux gigantesques à Nantes ?

Si vous voulez passer des vacances pas comme les autres, inutile de chercher bien loin. Nous vous proposons des sorties à la fois ludiques et instructives, dans des lieux vraiment uniques.

Partez sur la Lune à la Cité de l'espace !

A Toulouse, capitale européenne du spatial, la Cité de l'espace fête les 50 ans du premier pas de l'Homme sur la Lune et décline une large programmation d'événements autour du thème lunaire.

© Cité de l'espace / Auteur Manuel Huynh



La France est historiquement la 3^{ème} puissance spatiale mondiale, et Toulouse réunit la plus forte communauté européenne spatiale : le CNES (agence spatiale française) et d'importants laboratoires de recherche, l'Université Toulouse III Paul Sabatier, ISAE-SUPAÉRO, de grands industriels (Airbus, Thales Alenia Space), etc. La Cité de l'espace est le lien entre les acteurs de l'espace et le grand public, ce qui en fait un lieu unique en Europe en matière de diffusion de la culture spatiale et astronomique.

La Cité de l'espace regroupe...

- ▶ 4000 m² d'expositions
- ▶ 4 hectares de jardins scientifiques
- ▶ plus de 250 éléments d'exposition dont une fusée Ariane 5, une station Mir et un vaisseau Soyouz
- ▶ une coupole d'astronomie pour « mettre l'œil au télescope »
- ▶ un simulateur de marche lunaire
- ▶ 2 planétariums
- ▶ 1 salle IMAX® 3D

La Fusée Arlane 5.

2019 : l'année Lune !

Avec la nouvelle exposition « LUNE, Episode II », la Cité de l'espace propose de découvrir la Lune, revivre les exploits passés et saisir les défis actuels d'un retour sur notre satellite naturel. Car, 50 ans après le premier pas sur la Lune, le 20 juillet 1969, les projets d'un retour de l'Homme sur le célèbre astre se précisent.

Embarquement pour un voyage lunaire. Comment ? Tout d'abord en revivant l'exploit d'Apollo 11 et les premiers pas de Neil Armstrong et Buzz Aldrin sur la Lune grâce à une rétrospective qui dévoile les moments clés de cet événement mondial et les incroyables challenges résolus il y a 50 ans par les équipes de la NASA.

Le cœur de l'exposition sensibilisera le public à l'environnement lunaire, cet astre si beau et si hostile à la fois, et aux challenges actuels à relever pour permettre une installation humaine durable. Expériences sensorielles et défis surprenants sont au programme.

Le samedi 20 Juillet 2019 sera fêté l'anniversaire des 50 ans du premier pas de l'Homme

sur notre satellite. La Cité de l'espace vous fera revivre cette extraordinaire aventure qui a bouleversé l'Humanité. Une journée et une soirée anniversaire pour découvrir la formidable aventure des missions Apollo, et des astronautes Neil Armstrong et Buzz Aldrin qui ont marché sur la Lune pour la première fois. Un programme d'animations, de films et des invités exceptionnels pour comprendre les défis du voyage vers la Lune et se projeter dans l'exploration spatiale du 21^{ème} siècle. Exceptionnellement, un LM (Module Lunaire) grandeur réelle sera présenté dans les jardins de la Cité de l'espace à partir du 20 juillet et jusqu'à la fin de l'exposition. Ce vaisseau a permis aux Hommes de se poser sur la Lune le 20 juillet 1969.

Le vendredi 2 Août 2019, de 19h à minuit, la Nuit des étoiles aura naturellement pour thème la Lune : De la pierre à l'étoile !

Il y a un demi-siècle, les astronautes des missions Apollo collectaient à la surface de la Lune les premières pierres extraterrestres. Quelques dizaines de kilos de cailloux, ainsi



© Cité de l'espace

que de la poussière, soigneusement conservés pour analyse dans des laboratoires stériles. En tout, pour l'ensemble du programme, plus de 300 kilos d'échantillons collectés sur six sites explorés par douze hommes dont... un seul scientifique géologue.

© Cité de l'espace/Auteur Manuel Huynh



La Station MIR.

Monter à bord de Soyouz

Ce sont des expériences authentiques, inédites, vivantes et accessibles, qui marient connaissance et culture scientifiques, qui sont proposées à la Cité de l'espace.

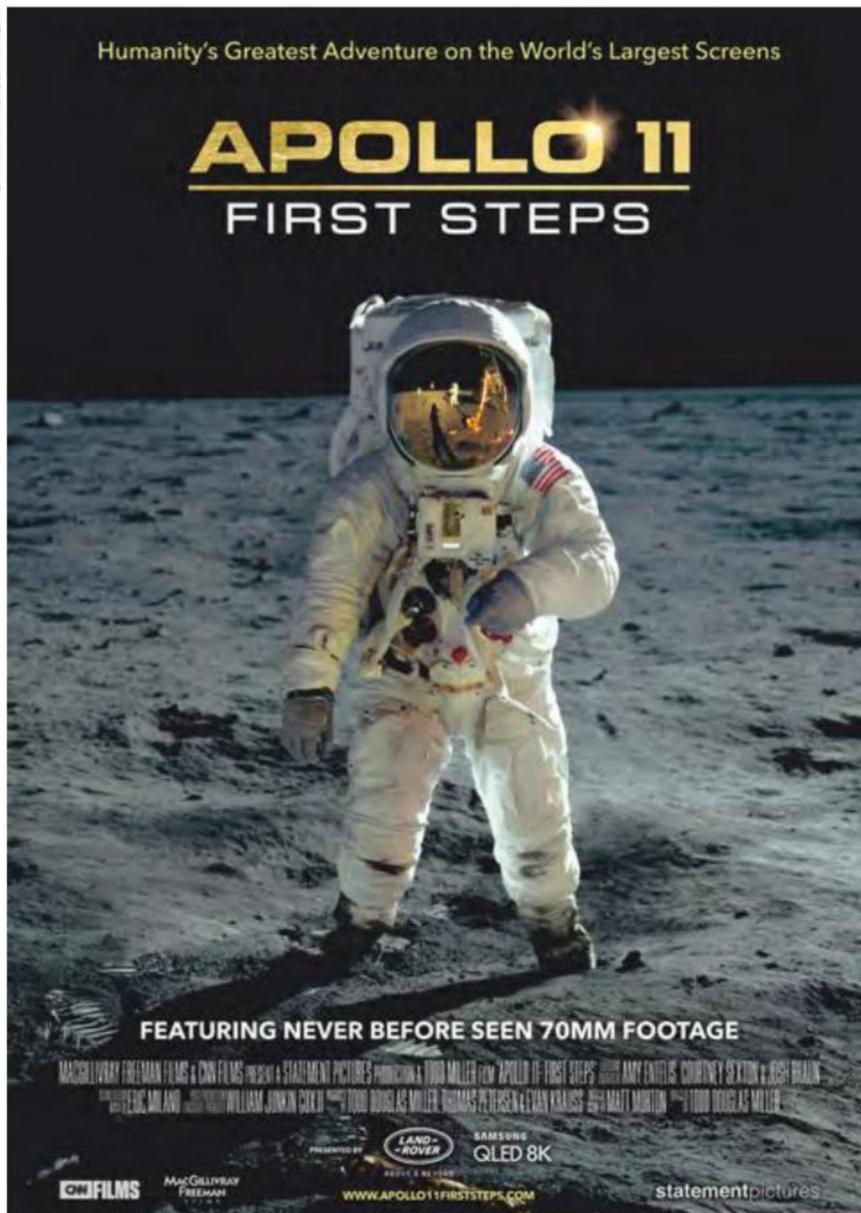
On peut y approcher des objets authentiques et des vaisseaux taille réelle, une expérience sensorielle forte qui confronte les visiteurs à la réalité spatiale avec par exemple la Fusée Ariane 5, une vraie Station Mir, une authentique capsule spatiale Soyouz. Mais également une réplique de scaphandre de sortie extravéhiculaire, et celui de la dernière

mission sur la Lune (Apollo 17), une véritable pierre de Lune (rapportée par les astronautes de la mission Apollo 15) ou encore des météorites martiennes dont l'une a été confiée à Thomas Pesquet pendant sa mission spatiale. Il est possible de s'installer à bord d'un véritable vaisseau Soyouz, le célèbre vaisseau russe qui a notamment transporté l'astronaute Thomas Pesquet (ESA) jusqu'à la Station Spatiale Internationale ISS, découvrir l'immensité de la fusée Ariane 5 et ses 53 mètres de hauteur. Le public peut aussi monter à l'intérieur de l'emblématique station

spatiale Mir qui a tourné pendant plus de 15 ans à 28 000 km/h autour de la Terre ou approcher le célèbre robot martien Curiosity dont le modèle réel explore la planète Mars actuellement.

Des animations permettent par exemple de rencontrer un prévisionniste de Météo-France, le théâtre Moon runner pour revivre les grands moments de l'épopée des missions Apollo, assister aux effets du vide spatial ou encore au lancement de micro fusées.

Prêts au décollage ?



4 étages d'expositions permanentes permettent de s'immerger dans l'espace actuel. Au Centre de lancement, on découvre comment les Hommes, les fusées et satellites

partent dans l'espace aujourd'hui et quels sont les nouveaux acteurs de l'espace. Au Vaisseau Terre, le visiteur teste les multiples utilisations de l'espace pour les pêcheurs, infirmiers, agriculteurs, militaires, biologistes, sauveteurs, pilotes... Au Pôle Météo, on suit la météorologie en temps réel et on teste des animations originales comme le StudioTV météo. Au quai du Système solaire, on découvre de façon originale la Station spatiale internationale (ISS), le Système solaire, les planètes, comètes et astéroïdes et au-delà ! Enfin à l'Observatoire, on comprend l'Univers et sa naissance comme un astrophysicien depuis son observatoire.

Mais on peut également, à la Coupole d'astronomie, contempler le ciel au télescope et admirer le Soleil, la Lune et les planètes. Ou encore s'immerger dans l'espace dans les deux salles de spectacle. Le nouveau film IMAX® « APOLLO 11, FIRST STEPS » apporte un nouveau regard sur la célèbre Mission Apollo 11 grâce à des images et archives inédites à découvrir sur écran géant. Le réalisateur Todd Miller fait

partager au public cette incroyable épopée scientifique et humaine, en livrant l'atmosphère des derniers préparatifs du décollage, des premiers pas de l'Homme sur la Lune et du retour de cette célèbre mission. Cette expérience immersive offre un nouveau regard sur l'une des plus grandes réalisations de l'humanité : l'Homme sur la Lune.

Au Planétarium, le nouveau spectacle « AU-DELÀ DES ÉTOILES » embarque les spectateurs dans le système solaire, puis bien plus loin. Mais pour cela, les visiteurs, grâce à une nouvelle technologie de spectacle interactif, vont assurer le rôle de co-pilote pendant lequel ils pourront se concerter pour franchir les différentes étapes du voyage !

La Cité de l'espace est enfin un lieu pour faire des rencontres inédites avec des scientifiques, experts, astronautes, explorateurs, etc. Événements (Nuit des étoiles, Nuit des chercheurs...), festivals, journées thématiques, soirées, projections de films, conférences rythment l'année. Le calendrier complet des événements est à retrouver sur www.cite-espace.com.

La Cité de l'espace
Avenue Jean Gonord
31 500 Toulouse
Tél. 05 67 22 23 24
www.cite-espace.com

A la découverte des océans à Brest

C'est un des seuls endroits au monde où l'on peut rencontrer des phoques polaires, des loutres de mer, ou encore des animaux provenant des abysses. Là se trouve également la plus grande manchotière d'Europe et un bassin exceptionnel de requins.

A Océanopolis, venez découvrir toutes les créatures marines tout en vous instruisant sur l'océan.



L'objectif d'Océanopolis est de faire connaître et comprendre les différents écosystèmes marins de la planète pour mieux les préserver. Son concept est unique en Europe : trois pavillons et un sentier pour un tour du monde de l'océan à travers les milieux tempéré, polaire et tropical. Plus qu'une visite, c'est un voyage au propos scientifique rigoureux et d'un grand réalisme dans la reconstitution des habitats

marins au fil de 77 aquariums et de 9 000 m² de surface d'exposition.

S'émerveiller mais aussi s'instruire. Océanopolis entend être un lieu de partage et d'échange de savoir. Le Parc a été imaginé par des universitaires qui souhaitent faire sortir la science des laboratoires pour la vulgariser auprès du grand public. Des liens avec les

chercheurs n'ont cessé d'être tissés, avant tout ceux de Brest dont la qualité de la plateforme scientifique est unique en Europe, mais aussi avec des équipes internationales. La pointe bretonne rassemble des fleurons nationaux des sciences marines tels que l'Ifremer ou l'Institut Polaire Paul-Émile Victor.

La banquise reconstituée...

On se passionnera d'abord pour le pavillon polaire avec sa manchotière illustrant les îles subantarctiques, et le grand bassin présentant l'Arctique où des phoques polaires évoluent sur et sous la banquise.

Sur un fond de décor désolé des îles Kerguelen, une quarantaine de manchots (manchots royaux, manchots papous et gorfous sauteurs) se donnent en spectacle. Plongeurs extrêmes pour certains, grimpeurs de falaises pour d'autres, ils évoluent dans un environnement de cascades et de neige et un bassin d'eau de mer à 8°C. Des naissances y ont lieu chaque année, confirmant ainsi la qualité des soins et le bien-être des animaux.

L'impressionnant film panoramique « 49° sud - nature australe », illustre la beauté grandiose de l'archipel subantarctique. Il est le fruit de la collaboration entre l'Institut Polaire français Paul Émile Victor, les Terres australes et antarctiques françaises et Océanopolis.

Plus loin, dans un univers de fjord norvégien, des phoques de l'Arctique profitent d'une véritable banquise reconstituée et d'un bassin de 1 000 m³. Qu'ils soient annelés, du Groenland ou barbus, les phoques polaires, toujours facétieux, nagent autour d'un iceberg ou se reposent sur la glace. La température extérieure



© Océanopolis

Un Manchot papou.

n'excède pas 4°C, celle de l'eau 8°C. Quatre aquariums accueillent des espèces étonnantes : des crabes géants venus du Japon et de la mer d'Okhotsk, au large du Kamtchatka, pouvant atteindre plusieurs mètres d'envergure, des anémones du froid aux multiples couleurs sous la glace, des étoiles de mer de taille impressionnante ainsi que des poissons étranges comme les loups de l'Atlantique Nord, etc.

Mais chaque pavillon comporte un vaste espace d'expositions et d'escalas pédagogiques. Pour tout savoir sur la vie des pôles, on pourra ici croiser un ours blanc naturalisé

ou la maquette d'un éléphant de mer, comprendre la formation de la banquise, ou encore découvrir comment se nourrit un orque de 8 tonnes en plein désert polaire...

Unique en Europe

Depuis 2015 des phoques à moustaches sont présentés à Océanopolis. Ils pèsent entre 200 et 250 kilos et mesurent environ 2 mètres. Océanopolis est désormais le deuxième aquarium au monde à présenter cette espèce.

Océanopolis en chiffres

Plus de 4 millions de litres d'eau de mer

1000 espèces animales représentées parmi lesquelles :

- ▶ 700 espèces de poissons et d'invertébrés des milieux coralliens
- ▶ 5 espèces de requins tropicaux
- ▶ 60 espèces de coraux
- ▶ 40 manchots de 3 espèces différentes
- ▶ 9 espèces de phoques.



© Océanopolis

Le nourrissage des manchots.

... mais aussi une barrière de corail !



Forêt d'algues laminales au Pavillon Bretagne.

Dans les eaux chaudes du pavillon tropical, 700 espèces de poissons et invertébrés évoluent. Les seigneurs des lieux étant évidemment les requins.

Un bassin de plus de 1 000 m³ d'eau de mer représente un petit morceau d'atoll polynésien. Cinq espèces de requins, comme le requin zèbre, ou encore le requin à pointes noires, mais aussi des raies dont font partie le poisson scie et la raie guitare, s'y épanouissent aux côtés de très nombreux poissons multicolores et invertébrés.

Le public a accès à une plate-forme de plongée vitrée pour descendre lentement dans ce vaste territoire, à travers une grotte qui s'entrouvre sur le lagon. Plus loin, une exposition « Homme ou requin : qui est le prédateur ? » rappelle que 60 millions de requins sont tués chaque année dans les mers du globe...

Encore plus étonnant, une barrière de corail a été reconstituée ! Elle abrite une soixantaine d'espèces de coraux vivants, durs ou mous. Elle lève le voile sur la richesse de la

biodiversité marine de la Nouvelle-Calédonie et de la grande barrière de corail australienne. Une eau très pure et une très haute intensité lumineuse favorisent le développement de ce récif. Les équipes d'Océanopolis ont multiplié certaines espèces par bouturage, ce qui limite le prélèvement d'individus en milieu naturel et contribue aussi à la survie des espèces. Entre exhibition et camouflage, les poissons des récifs qui peuplent également ce bassin développent d'étonnantes techniques de survie en se fondant dans le paysage ou en se faisant passer pour un autre.

Plus loin dans le pavillon, une multitude d'espèces de poissons aux couleurs étonnantes évoluent dans différents aquariums. Chirurgiens, poissons-clowns, poissons papillons, poissons anges, poissons perroquets, poissons chauve-souris, demoiselles... Tous témoignent de la grande biodiversité de l'océan Indien ou de la mer des Caraïbes.

Puis le visiteur traverse la Mangrove, typique des côtes marécageuses tropicales. Au sein des racines des palétuviers vivent aiguillettes,

sélènes et gorettes mais aussi les étonnantes limules, arthropode marin qui n'a pas évolué depuis plus de 500 millions d'années. La serre tropicale abrite également des espèces végétales rares issues d'une forêt de type caraïbo-guyanaise qui poussent par une température constante de 25 °C et une hygrométrie de 85 %. Dans cette ambiance chaude et humide, une faune amazonienne bigarrée prospère. Les piranhas, discus, néons et tétras sont les seuls poissons d'eau douce présentés à Océanopolis.

Unique au monde

Les toutes premières images de la naissance d'un requin zèbre ont été captées dans les réserves du pavillon tropical d'Océanopolis en août 2013. Depuis, chaque année, le parc accueille de nouvelles naissances de cette espèce de requin.

Expériences avec les scientifiques

Retour en Bretagne au sein du nouveau pavillon tempéré. On y découvre la biodiversité des côtes bretonnes à travers la vision des scientifiques mais aussi celles des professionnels de la mer.

Et le voyage commence par une plongée dans l'infiniment petit : le monde extraordinaire du plancton. Ces microorganismes, base de la chaîne alimentaire, se dévoilent dans toute leur diversité et sous différentes formes : de la projection verticale lumineuse au sujet d'étude d'un laboratoire dédié, de l'algue microscopique à la méduse taille adulte...

La richesse de la biodiversité littorale de la Bretagne est ensuite présentée. Puis un espace

Unique au monde

Océanopolis est le premier site au monde à présenter des animaux issus d'environnements profonds dans un aquarium pressurisé. L'AbysBox est un caisson qui maintient des animaux à une pression pouvant atteindre 200 bars, ce qui équivaut à une profondeur de 2 000 mètres.

© Simon-Cohen



Un Phoque veau-marlin à l'Espace Parc Naturel Marlin d'Iroise.

immersif, le Minilab, est dédié à l'expérimentation. Le médiateur y est en interaction directe avec les visiteurs et leur révèle autrement la biodiversité bretonne avec microscope, loupe binoculaire, caméra sous-marine, écran interactif...

La région est bien sûr réputée pour la conchyliculture qu'il est possible de découvrir ici. Contrairement aux idées reçues, l'activité conchylicole a un effet bénéfique sur les milieux où elle se développe. Filtration des eaux, régulation de l'eutrophisation, augmentation

de la biodiversité, fixation du CO2... l'élevage des coquillages rend de nombreux services écosystémiques.

Enfin le Parc naturel marin d'Iroise, premier parc marin français, est tout proche, puisque situé à l'ouest du Finistère, entre les îles d'Ouessant et de Sein. Il abrite des patrimoines naturels et culturels exceptionnels dans un espace où s'exercent de nombreuses activités professionnelles et de loisirs. On découvrira toute la diversité des espèces qui peuplent cet environnement remarquable.

De nouveaux habitants...

A l'extérieur des bâtiments, un espace de découverte permet de présenter deux espèces : la loutre de mer et la loutre d'Europe.

La loutre d'Europe (*Lutra lutra*), occupe une grande diversité de milieux aquatiques, du

littoral marin jusqu'à 2 000 mètres d'altitude, des rivières aux plans d'eau, en passant par les marais. Le milieu terrestre est utilisé pour s'abriter et se reposer. Elle est la seule espèce de loutre en France qui fréquente un milieu naturel exceptionnel : les zones humides.

Ponctué de cascades, de mares, de lagunage et de végétation, l'enclos des loutres d'Europe est doté à la fois d'eau douce et d'eau de mer : une configuration unique. Vénus et Boukan y évoluent depuis 2013.

La loutre de mer (*Enhydra lutris*) est la seule espèce de loutre à vivre en permanence en mer : pour se nourrir, pour se reposer ou même pour donner naissance à ses petits. Elle ne quitte le milieu marin pour regagner la terre ferme qu'en cas de danger. C'est un mammifère marin diurne plutôt sociable - en Pacifique nord il a autrefois évolué en groupes

d'une taille allant jusqu'à 2000 individus - au comportement joueur.

Dans un espace totalement marin, recréant l'environnement rocheux d'une grève californienne, évoluent Pukiq, Matchaq et Tangiq.

Unique en France

Elles ont pour nom Pukiq, Matchaq et Tangiq. Depuis 2016, Océanopolis est le premier site en France à présenter au public ce mammifère marin venu d'Alaska.

Océanopolis

*Port de Plaisance du Moulin Blanc
Rue des Cormorans - 29200 BREST*

Tél : 02 98 34 40 40

www.oceanopolis.com



Une Loutre d'Europe.

© Océanopolis

Formidables machines à Nantes !

Installées sur le site des anciens chantiers navals de Nantes, de nouvelles machines extraordinaires sont en construction. Après le Grand Éléphant et le Carrousel des Mondes Marins, l'Arbre aux Hérons sera une véritable Cité dans le ciel !

Imaginées par François Delarozière et Pierre Orefice, « Les Machines de l'île », structures mécaniques monumentales ouvertes au public, sont un projet artistique totalement inédit. Les premières machines se sont animées en juillet 2007 avec les sorties du

Grand Éléphant et la visite de la Galerie des Machines. En 2012, l'ouverture du Carrousel des Mondes Marins a été l'aboutissement du travail initié depuis l'inauguration sur la thématique de la mer.

Aujourd'hui l'imaginaire lié au végétal est mis en avant dans la Galerie des Machines et préfigure un nouvel épisode dans cette incroyable aventure : l'Arbre aux Hérons. Ouverture prévue au printemps 2022.



Le Grand Éléphant.

Des dimensions gigantesques

Le Grand Éléphant impressionne grandement le visiteur. Quand il sort de la grande Nef, l'animal majestueux, de 12 mètres de haut, a embarqué à son bord jusqu'à 50 voyageurs. C'est une sculpture en mouvement qui sort d'une cathédrale d'acier pour un étonnant voyage.

Les passagers découvrent, de l'intérieur, les engrenages et les pattes en mouvement. Un machiniste peut les renseigner sur la vie de l'animal et déclenche les barrissements.

Depuis le dos du Grand Éléphant, les voyageurs sont comme au 4^e étage d'une maison qui se déplace, avec vue « imprenable » sur le site des anciens chantiers navals. Dans cet équipage, ils s'inventent un autre voyage hors du temps dans la ville de Jules Verne. Chaque sortie du pachyderme est un spectacle unique offert à tous.

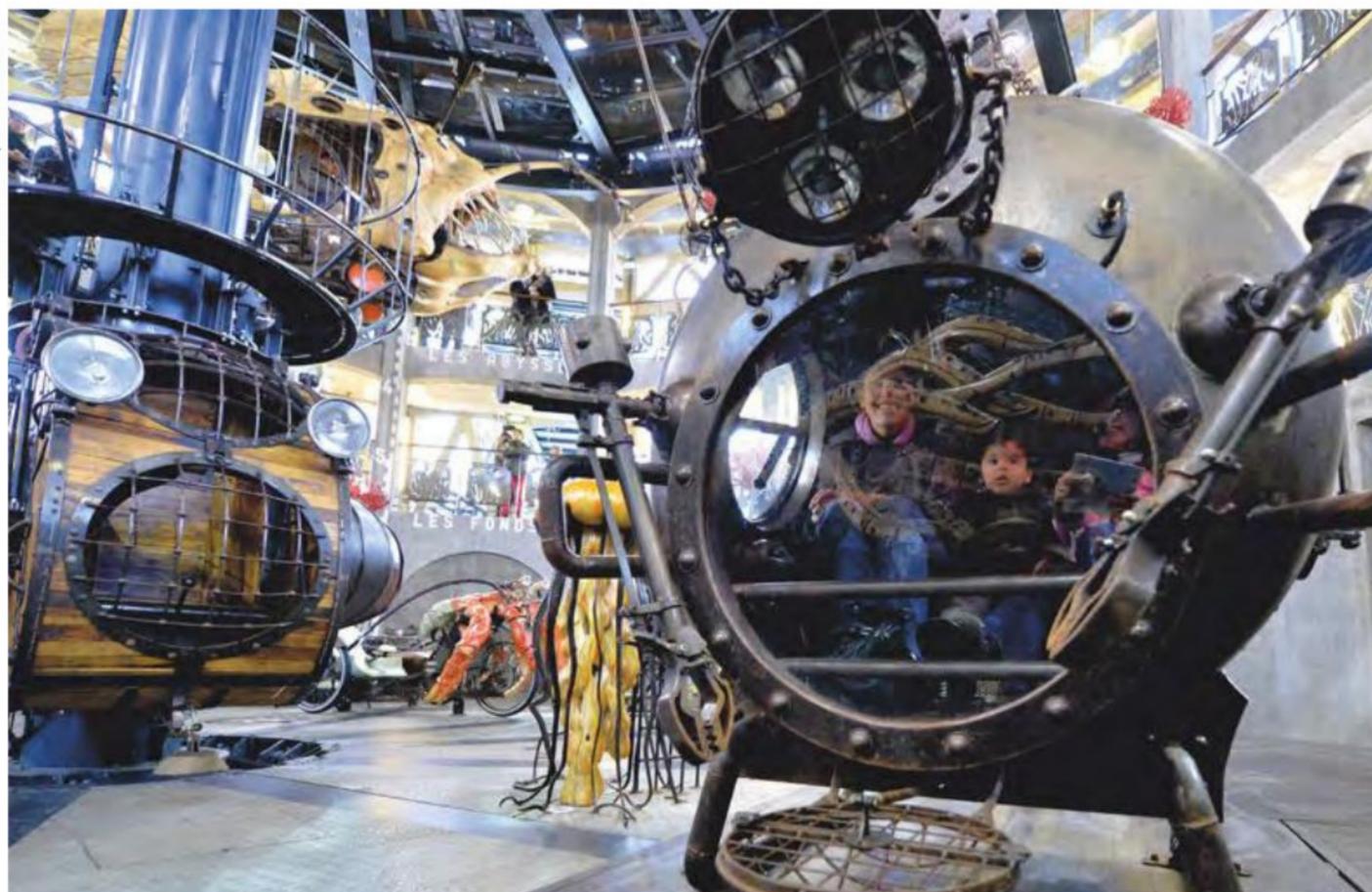
Depuis 2018, le Grand Éléphant a fait sa grande révision après avoir parcouru près de 20 000 kilomètres et effectué pas moins de 23 000 voyages. Il revient, plus silencieux que jamais et 20 fois moins polluant car équipé d'un nouveau moteur hybride, fort de l'expérience de la motorisation hybride du cheval dragon Long Ma de la Compagnie La Machine. C'est le premier pachyderme éco-responsable !

Puis vient le Carrousel des Mondes Marins. Ce carrousel géant, de près de 25 mètres de haut et de 22 mètres de diamètre, est un véritable théâtre à 360°. Il accueille le public dans une incroyable sculpture dédiée à la mer. Au-delà de ses dimensions extraordinaires, son originalité réside dans ses 3 plateaux superposés.

Un nouveau projet extraordinaire va donc voir le jour en 2022 : L'Arbre aux Hérons - une Cité dans le ciel ! Les années 2018/2019 sont consacrées aux études et à la préparation du chantier et les deux années suivantes au chantier de construction.

Situé en bord de Loire, à 800 mètres à vol de héron du Carrousel des Mondes Marins, un arbre géant va pousser au cœur des falaises du Sillon de Bretagne, paradis de la biodiversité.

© Jean-Dominique Billaud_LVAN



Le Carrousel des Mondes Marins.

Les visiteurs sont spectateurs d'étranges et inquiétantes créatures marines qui tournent. Ils découvrent la mer dans tous ses états, depuis les fonds marins, les abysses et jusqu'à la surface de la mer.

Dans les fonds marins, le public accède au Crabe géant, au Calamar à rétropropulsion, à l'Engin d'exploration qui plonge dans la salle des machines, ou au Bathyscaphe qui grimpe le long du mat central... et le dernier arrivé : le Poisson-coffre.

Dans les abysses, au deuxième niveau, 6 éléments sont suspendus au-dessus des fonds marins. Les passagers choisissent : le Luminaire des grands fonds, la Raie Manta, le Poisson pirate...

À la surface de la mer, au troisième niveau, ce sont bateaux, attelages marins et autres Poissons volants, Bateau tempête, Coques de noix et Méduses emportés dans une ronde démontée par 24 grandes vagues mécaniques !

Les 48,4 tonnes d'acier et de bois...

...du Grand Eléphant sont mises en mouvement par 62 vérins (dont 46 hydrauliques, 6 pneumatiques et 10 à gaz). Cela exige 2500 litres d'huile hydraulique.

Une Cité dans le ciel !

Bien sûr, l'Arbre aux Hérons et la carrière de Chantenay vont s'unir, des passerelles vont se créer grâce au futur jardin extraordinaire (une cascade de 25 mètres, un escalier à flanc de falaise et sept belvédères en surplomb), un parc urbain unique du fait de son micro climat qui magnifiera les jardins suspendus de l'Arbre aux Hérons.

Le bestiaire mécanique actuellement expérimenté dans la Galerie des Machines va

peupler l'arbre : La Fourmi géante, la Chenille arpeuteuse, l'Araignée, le colibri, le paresseux... Les centaines de visiteurs en apesanteur, deviendront les habitants de cette Cité dans le ciel. L'arbre sera surmonté par 2 hérons géants qui emporteront l'un après l'autre une vingtaine de passagers pour un vol vertigineux !

Cet arbre d'acier et de bois, mesurera 50 mètres de diamètre. Il culminera à 32 mètres

et sera constitué de 22 branches, représentant un linéaire de branche de plus d'un kilomètre dont la moitié sera accessible en promenade. Comme le Grand Éléphant, l'Arbre aux Hérons sera une machine de ville accessible à tous, on pourra venir le découvrir et l'observer librement.

Des études sont aujourd'hui en cours sur le développement de la flore pour obtenir un écosystème propre. La Branche prototype située au-dessus de la librairie-boutique a été empruntée plus de 4 millions de fois depuis l'ouverture des Machines de l'île en 2007.

Elle s'épanouit en façade et vous dépose sur le parvis des Nefs. Cette branche (20 tonnes et 20 m de long) est le premier élément d'une architecture monumentale qui en comptera 22 au total.

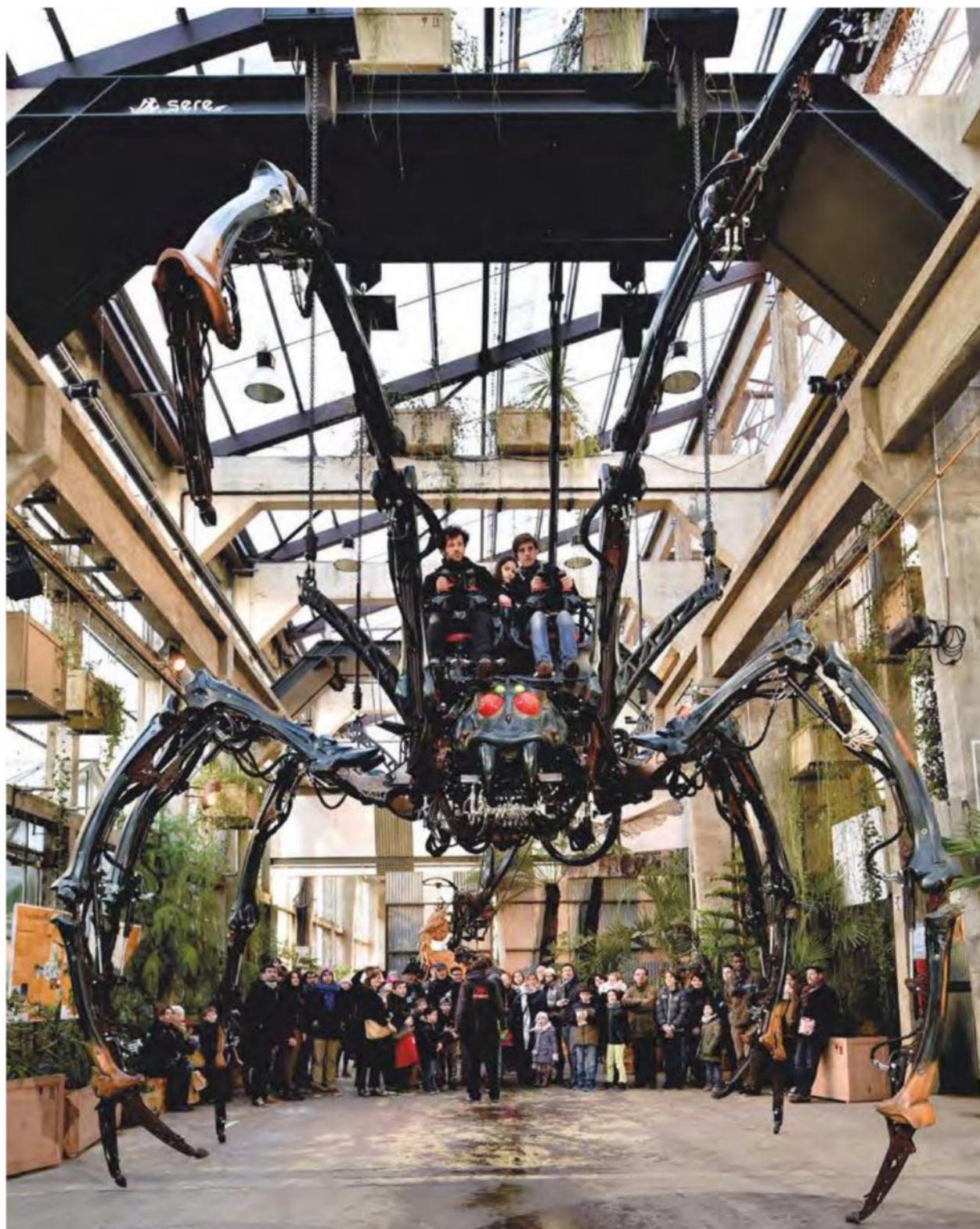
Et bien d'autres animations...

On peut donc assister actuellement à la conception de cette formidable structure. D'une part dans la Galerie des Machines, lieu de spectacle vivant avec la mise en scène d'un véritable bestiaire de machines. C'est un laboratoire où sont testées les machines construites dans l'atelier de la compagnie *La Machine*.

La visite est rythmée par les interventions des machinistes qui expliquent au public l'histoire du projet et le fonctionnement de ces étranges créatures. Depuis 2018, les prototypes indispensables aux études de l'Arbre aux Hérons. En 2019, un paresseux et un colibri porte épée ont rejoint le colibri géant, les oies sauvages, le héron de 8 mètres d'envergure, la fourmi géante, la chenille arpeuteuse et l'araignée mécanique au cœur de la Galerie des Machines. Ils sont les premiers éléments qui peupleront l'arbre. Le public peut être invité à prendre les commandes de la Chenille arpeuteuse ou de la Fourmi géante.

Les visiteurs peuvent également découvrir, depuis une coursive, le travail des constructeurs à l'oeuvre dans l'atelier de la compagnie *La Machine*. Du croquis, qui renvoie à l'imaginaire de Léonard de Vinci, à la machine en exploitation, c'est tout le processus de création qui est ainsi présenté dans un site magique, qui tient à la fois du laboratoire et du spectacle-exposition.

D'autres animations sont proposées sur le site, tel le Centre européen d'essai en vol. Dédié à tous les illustres fous volants, ce simulateur de vol en soufflerie est unique au monde. Un machiniste prend place aux commandes d'un « pou du ciel » et après avoir mis ceinture, casque et lunettes, vole à plus de 100 km/h.



© D.R. - Le voyage à Nantes

Embarquement sur des créatures extraordinaires !

Les Machines de l'île
Parc des Chantiers - Bd Léon Bureau - 44200 NANTES
Tél : 0 810 12 12 25 - www.lesmachines-nantes.fr

Expériences insolites dans la Grotte de Saint-Marcel d'Ardèche

Archéologie, spéléologie, œnologie... au sein d'un des plus grands réseaux souterrains d'Europe, au cœur de la Réserve Naturelle des Gorges de l'Ardèche, vous vivrez des aventures uniques !

Située aux portes de la Provence, la Grotte de Saint-Marcel est à 30 minutes de la Grotte de Chauvet 2 et à 20 minutes de la Grotte de la Madeleine : deux lieux d'exception.

La grotte de Saint-Marcel a été creusée dans la roche calcaire par une ancienne rivière souterraine il y a près de 6 millions d'années. Le clapotis des vagues a façonné les parois, creusant des dizaines de milliers de « coups de gouge », dont la forme nous indique désormais dans quel sens allait le courant. Suite au retrait de la rivière, les concrétions ont commencé à se former, grâce aux infiltrations d'eau de pluie. Les plus impressionnantes

sont les gours, vaste cascade de bassins de calcite pure remplis d'eau.

La grotte fut découverte en 1836 par un chasseur dont le furet s'était glissé dans une cavité. Il revient 2 ans plus tard pour poursuivre son exploration. Les visites commencent alors, sur une toute petite portion de la cavité. Les investigations spléleo d'Edouard Martel en 1892, puis de Robert de Joly en 1930, permettront de prendre conscience des réelles

dimensions de la grotte. 57 km de galeries ont été explorées aujourd'hui.

Site de référence pour son intérêt scientifique, elle est classée « Patrimoine Naturel National » en 1934. Elle attire de plus en plus de visiteurs et, en 1988, la commune de Saint-Marcel décide de creuser un tunnel pour y accéder plus facilement et aménage un sentier pour les visiteurs. Les visites guidées démarrent en 1989.



Grotte Saint-Marcel - ©Rémi Flament

La magnifique Cascade de gours, unique en Europe.



Grotte Saint-Marcel - ©Fémi Flament

Balade des lucioles dans la Salle du Cirque.

Une peinture vieille de 21 000 ans...

De nombreuses peintures et gravures figurent dans les cavités. Une peinture pariétale représentant un auroch, sous lequel on aperçoit deux têtes de bouquetins et des ponctuations, a été découverte en 1963 dans la Grotte de la Tête du Lion, petite cavité du réseau de Saint-Marcel. Sa reproduction est visible dans la partie aménagée.

La grotte renferme un vaste réseau de galeries souterraines, des bassins en cascade, une somptueuse cathédrale, d'étranges concrétions, des salles immenses aux noms évocateurs tels que la Fontaine de la vierge, la Galerie des peintres, la Table des rois... La visite guidée permet d'accéder aux plus belles salles du réseau sur un parcours de 600 mètres de long.

Haute de plus de 30 mètres, la Salle de la cathédrale est impressionnante par sa richesse de concrétions mais aussi par son volume. On peut y découvrir des stalagmites et des stalagmites absolument magnifiques, mais aussi des draperies, des colonnes et de nombreuses autres formations. Une coulée de calcite (calcaire pur) évoque un ange suspendu dans les airs. L'un des deux spectacles son et lumière se déroule dans ce lieu insolite.

Quant à la Cascade de gours de la grotte de Saint-Marcel, elle est unique en Europe. En patois provençal, un gour signifie « bassin ». Ici un gour est une concrétion carbonatée en forme de bassin. Ces bassins forment une cascade surprenante et magnifique de plusieurs dizaines de mètres.

Différents types de visites sont proposés, parmi lesquels la Balade des lucioles qui permet de découvrir les mystères de la grotte à la lueur des lampes torches. Une ambiance intime et envoûtante qui fait ressentir les mêmes émotions que celles des premiers explorateurs.

Mais il est possible aussi de faire de la spéléologie en explorant le réseau de Saint-Marcel au-delà de la partie aménagée. Des parcours ludiques et adaptés sont prévus : rando souterraine, tyrolienne et descente en rappel.

La SpéléOenologie® : Une expérience originale et sportive !



Grotte Saint-Marcel - ©Rémi Flament

La Cave naturelle des Gorges de l'Ardèche®

Pionnière en la matière, la grotte de Saint-Marcel abrite depuis 2015 un espace de vieillissement de vins hors norme... situé à 45 mètres sous terre ! Dans la Cave naturelle des Gorges de l'Ardèche®, la température constante de 14°C, l'humidité à 86% et l'absence de lumière présentent les meilleures conditions du vieillissement du vin.

Les visites œnologiques souterraines permettent de découvrir la partie aménagée de la grotte de Saint-Marcel tout en dégustant les productions des vignerons locaux. Les sens y sont décuplés, en particulier l'olfaction, ce qui confère aux vins une dimension hors du-commun.

Mais il est aussi possible d'allier spéléologie et œnologie. La SpéléOenologie® est un

concept unique, qui permet de découvrir les merveilles de la grotte de Saint-Marcel tout en dégustant les vins des vignerons qui ont créé la Cave naturelle des Gorges de l'Ardèche®. Un guide spéléo breveté d'état emmène les visiteurs dans les profondeurs de la grotte, loin du cheminement de la partie aménagée. Combinaison, casque et lampe frontale sont de rigueur !

Deux programmes ont été conçus. Tout d'abord, la Rando sous le Terroir. Accessible à tous, cette expédition vous emmène sur les traces des premiers explorateurs de la grotte, qui dégustaient déjà du vin sur place et y cachaient leurs meilleures bouteilles. Vous découvrirez le terroir de l'intérieur et comprendrez ainsi la pertinence de la rencontre entre

spéléo et œnologie. Différentes dégustations sont possibles.

Ou encore la Tyrolienne sous les Vignes est un parcours à la fois ludique et sportif qui permet de comprendre le terroir du sud de l'Ardèche en alternant passages étroits et vastes salles. La dégustation se déroule dans la magnifique petite salle de Joly, couverte de concrétions. Un cadre intime qui laisse ensuite place à une traversée en tyrolienne de la Salle de la Cathédrale, la plus grande salle de la grotte de Saint-Marcel !

Grotte de Saint-Marcel d'Ardèche
2759, Route touristique des Gorges
07700 Bidon - Tél : 04 75 04 38 07
www.grotte-ardeche.com

L'ÉVÈNEMENT
MAGAZINE

NOUVELLE FORMULE

AVENIR
LES CERTITUDES
DE LUC FERRY

URGENCE CLIMATIQUE
PMA/GPA
CRYPTO-MONNAIES
MIGRATION
VIOLENCES
DIGITALISATION...

**UN NOUVEL
HOMME**
Peut-on arrêter
la dérive ?

NETFLIX
L'EGO
AUDIOVISUEL

COUR DES COMPTES
UN RAPPORT
INUTILE ?

CLIMAT
LA RÉVOLTE
DES JEUNES

BIO
LE VRAI
DU FAUX

Illustration: Jean-Jacques Audebert 2019 - 9782 - BEL - 4714

Le monde de
l'espace **Nouveau**

LE MONDE DE
l'espace

NÉBULEUSE
DU CRABE
20 ans d'observation
astronomique

LE BOURGET
Des nouveautés
qui changent la
recherche spatiale

VOIE LACTÉE
Les découvertes
de la NASA sur le
champ magnétique

MARS
Un nouveau cratère
datant de 2019 !

EXPLORATION
LUNAIRE
La course aux
sources d'énergie

TÉLÉSCOPES
Guide d'achat des
meilleurs appareils

SUPERGÉANTE
BETELGEUSE
Bientôt une
supernova

**NOUVEAUX
EXTRATERRESTRES
LA SCIENCE Y CROIT !**

On a découvert de la matière
organique. Des milliards
de planètes habitables
dans notre galaxie.

THOMAS PESQUET
À bord de
ISS, il veut
conquérir la
Lune, avec
l'appui du
CNES

STARSHADE
Le projet géant de la
NASA pour découvrir
les exoplanètes

LE PIC DU MIDI
Une révolution pour
étudier l'espace

Drone

**L'essentiel du
Drone**

Le magazine leader du
drone amateur et pro

Pour apprendre
à programmer

www.lafontpresse.fr N°10

DJI ROBO MASTER
1^{er} drone éducatif

RÈGLEMENTATION
Enfin une législation
européenne !

FANTASTIQUE
PARROT ANAFI
THERMAL
pour les pros
de l'imagerie

NOUVEAUTÉS
2020

Professionnels,
loisirs, amateurs...
Prises en main,
tests et résultats

GUIDE D'ACHAT :
DHL EXPRESS
DJI MANTFOLD 2
FIMI X8 SE
GLADIUS MINI
SPLASH DRONE 3+
SPLASH DRONE EXTREM ACT
DIODON SP20
EACHINE REDDEVIL

FABRICANT
UN FRANÇAIS
AUX AMÉRIQUES

REPORTAGE
Un drone dans le
toboggan du diable !

DRONE PRO
Il sauve
des vies

Lafont
presse

La revue de la
SCIENCE N°16

Découverte
COMMENT
SOMMES-NOUS
DEVENUS DES
HUMAINS ?

AUX ORIGINES
DE LA VIE...

**LE MONDE SERAIT
QUANTIQUE !**

Les révélations des
physiciens sur l'ADN
et les enzymes.
Les molécules sont
partout dans
l'espace.

AVC
DE NOUVEAUX
TRAITEMENTS

Les traces
d'une vie
extra-terrestre

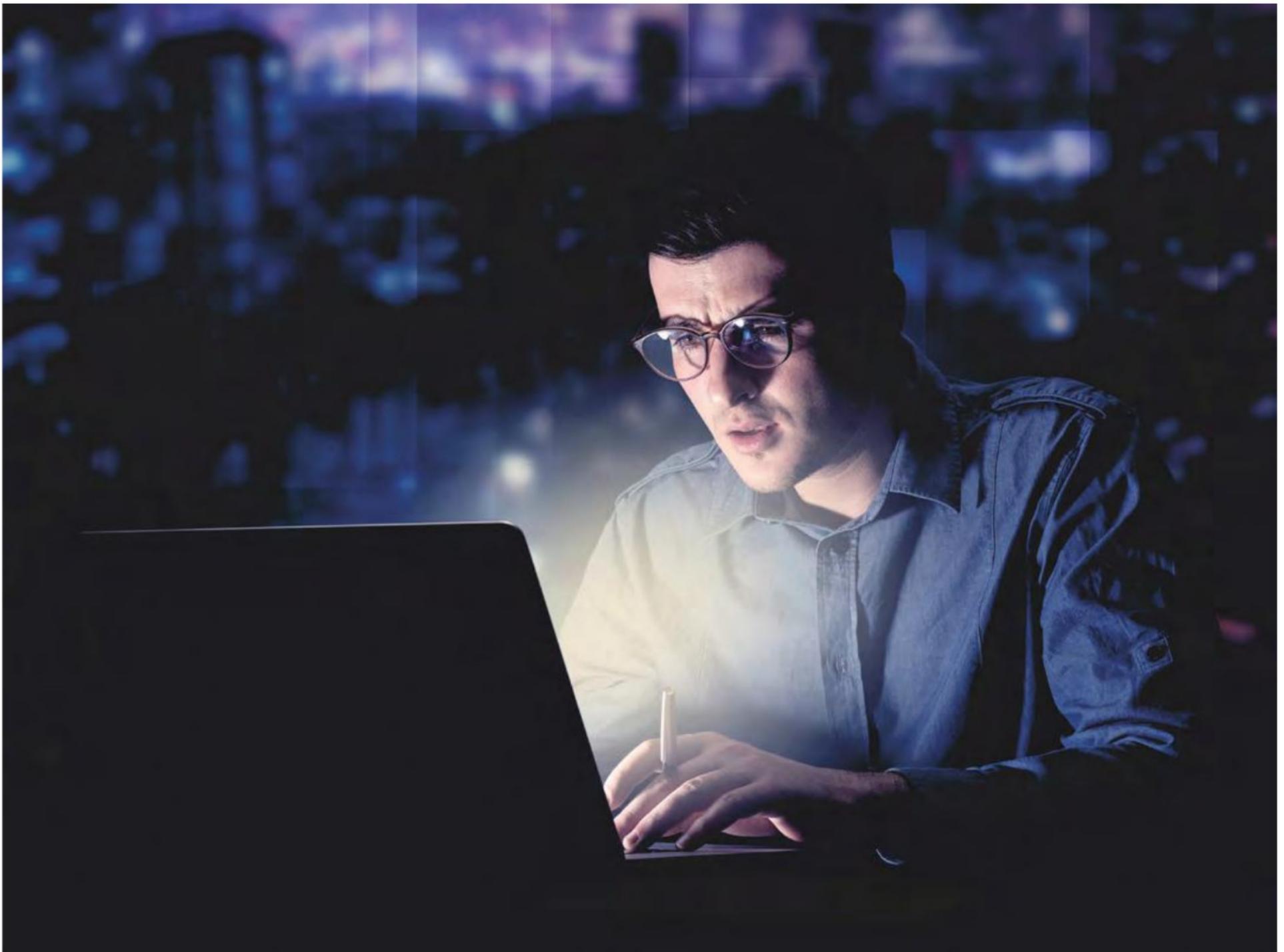
Conscient & inconscient
On découvre les molécules des souvenirs

**Lafont
presse**
c'est positif !

En kiosques ou sur lafontpresse.fr



Lumière bleue : quels sont les risques ?



Chaque jour, nous passons en moyenne plus de 6 heures devant les écrans.

Rétine abîmée, perturbation du sommeil source de problèmes de santé... les effets de la lumière bleue ne sont pas tous bien définis. Et pourtant, le temps pendant lequel nous sommes exposés à cette lumière ne cesse de croître ! Quelles sont les dernières découvertes sur ce sujet ?

Des temps d'exposition de plus en plus longs



Selon le type d'ampoule (LED, halogène...), la quantité de lumière bleue n'est pas la même.

Depuis le rapport de l'ANSES de 2010 (revu en 2019), qui concluait à la non dangerosité des LED dans des conditions normales d'utilisation, les travaux de recherche sur la lumière bleue se sont accélérés. Si tous les résultats font état de dangers potentiels, d'autres travaux ont souligné des mécanismes naturels de défense de l'œil. Mais de nombreuses hypothèses restent à démontrer (efficacité des filtres anti-lumière bleue, addition des différentes expositions...).

Le pourcentage de bleu dans les différentes sources est de :

- ▶ Lumière naturelle : environ 40%
- ▶ LED 4 000 K : entre 27 et 32%
- ▶ LED 3 000 K : 20%
- ▶ LED 2 700 K : entre 17 et 20%
- ▶ SHP : 10%
- ▶ Halogène 3 000 K : 13%

(Source : Département américain de l'énergie - 2014)

Le 26 mars dernier, à Paris, s'est tenue une conférence sur les effets biologiques de la lumière sur le développement de l'homme. Intitulée « La lumière bleue : un enjeu sanitaire ? », elle était organisée par le Collège Santé de l'Association française de l'éclairage (AFE - www.afe-eclairage.fr). Ce groupe de travail, composé d'experts internationaux et nationaux reconnus, réalise une veille sur les effets sanitaires de la lumière sur l'homme (fonctions visuelles, biologiques et psychologiques).

Ce fut l'occasion de présenter les travaux les plus récents sur le sujet ainsi que des bilans d'exposition de la rétine à la lumière bleue. Ce qui apporte des éclairages sur la part des émissions liées à la lumière naturelle ou aux sources artificielles, et sur l'influence sur le sommeil et sur l'œil. Fut évoquée également la notion de « déséquilibre spectral » entre les doses d'exposition rétinienne reçues respectivement dans le rouge et le bleu.

Les conclusions montrent que les expositions s'accroissent dans la population actuelle. Plus que la lumière bleue en elle-même, dont la première source demeure le soleil, ce sont

nos comportements qui font du sujet de la lumière bleue un enjeu sanitaire de grande envergure. Car, à la lumière naturelle (environ 40% de lumière bleue en fonction de la météo et de la période), s'ajoutent aujourd'hui des temps de plus en plus longs sur écrans, devenus incontournables et multiples dans notre vie quotidienne, mais aussi l'éclairage LED, les veilleuses...

Ainsi, selon le Baromètre de la vue publié par l'AsnaV, en 2018, le temps moyen passé chaque jour sur écran est de 6 h 09 chez les adultes et de 9 h 43 pour les 16-24 ans.

Quant au pourcentage de bleu, il diffère selon les différentes sources (cf encadré) et plusieurs longueurs d'onde sont présentes dans le spectre bleu (entre 380 et 500 nm) :

- ▶ Le bleu turquoise (pic à 480 nm), ou le « bon » bleu, qui influe sur le rythme circadien ;
- ▶ Le bleu violet (430 nm), qui pourrait avoir des effets phototoxiques, dans certaines conditions, sur la rétine.

De nouvelles connaissances sur les effets sur l'homme



Le soleil reste la plus grande source de lumière bleue.

Neuro-ophtalmologue à l'hôpital Pitié-Salpêtrière et à l'hôpital Necker de Paris, le Dr. Christophe Orssaud est Président du Collège Santé de l'AFE. Il nous livre les dernières conclusions scientifiques sur les effets délétères possibles.

Il est difficile d'évaluer les multiples conséquences sur l'homme de la lumière bleue à laquelle nous sommes tous exposés dans la vie courante. Du reste, ce terme de lumière bleue est sans doute peu approprié car il regroupe plusieurs bandes de longueurs d'onde dont les effets sur les tissus ne sont pas identiques.

L'une des premières raisons rendant difficile l'évaluation des effets de cette lumière bleue est le peu de données concernant l'exposition à laquelle chacun d'entre nous est soumis. Les sources de lumière bleue sont multiples et la quantité qu'elles émettent est très variable.

Cette variation d'émission se comprend aisément en ce qui concerne la lumière naturelle. L'exposition solaire dépend de l'importance d'une éventuelle couche nuageuse qui bloque une partie de la lumière mais qui peut en augmenter la diffusion en tous sens.

Les sources artificielles (LED, OLED, halogènes...) ont des spectres différents et, de ce fait, une quantité de lumière variable dans chacune des bandes de lumière bleue. D'autres paramètres doivent être pris en compte tels que la distance entre la source et les tissus cibles, les temps d'exposition et la température de la source.

Notons que la lumière pénétrant dans l'œil ne provient pas toujours directement de la source lumineuse (on ne regarde pas les lampes au plafond) mais est une lumière réfléchie... Tel n'est pas le cas en ce qui concerne les écrans. L'appréciation de l'exposition des tissus, et notamment de la rétine, nécessite donc des recherches spécifiques. Une autre raison pour laquelle les effets de la lumière bleue restent mal connus est liée à la diversité et

aux spécificités des différents tissus.

Il est bien prouvé que certaines bandes de lumière bleue sont particulièrement cytotoxiques et entraînent une mort cellulaire. Toutefois :

- Certains tissus ont une grande capacité régénérative permettant de compenser plus ou moins bien cette perte cellulaire. C'est le cas de la peau et des cellules de la surface de la cornée. Néanmoins, à long terme, cette régénération peut être pathologique.

- A l'inverse, la rétine a peu de capacité de régénération et la perte des photorécepteurs est plus ou moins irréversible. Il existe donc un risque qu'une surexposition à la lumière bleue soit responsable de la survenue de pathologies graves et cécitantes mimant la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) dans les années à venir.

- Néanmoins, une équipe de l'Université de Toledo a démontré l'existence d'une molécule (l'alpha-tocophérol), capable chez l'Homme de réparer les altérations cellulaires provoquées par la lumière bleue. Ces mécanismes pourraient éviter la mort cellulaire. Il n'est toutefois pas possible de savoir s'il existe un effet seuil au-delà duquel les mécanismes de réparation sont dépassés.

Enfin, la lumière bleue agit également sur la sécrétion de mélatonine. De ce fait elle perturbe les phénomènes d'endormissement et joue sur la qualité du sommeil. Or, une perturbation du sommeil est responsable de problèmes généraux (HTA, diabète...).

En résumé, l'influence de la lumière bleue sur les fonctions visuelles et biologiques de l'Homme, démontrée par près d'une centaine de travaux de recherche et publications ces dix dernières années, est un risque complexe. Certains points soulèvent encore des controverses scientifiques, notamment en l'absence de connaissances sur les niveaux réels d'exposition et l'efficacité des moyens pour s'en protéger.

Quelques règles d'hygiène lumineuse...

- ▶ Pas d'écrans avant 3 ans et pas plus d'une heure par jour avant 12 ans, les yeux des enfants n'étant pas capables de protéger l'œil comme chez les adultes
- ▶ Ne pas regarder d'écrans au moins deux heures avant d'aller se coucher
- ▶ Ne pas regarder d'écrans dans le noir (contraste trop fort)
- ▶ Toutes les 20 minutes, levez les yeux des écrans pendant 20 secondes et fixer un point à 6 mètres
- ▶ Ne pas regarder directement les sources lumineuses
- ▶ Ne pas s'approcher d'une source lumineuse à moins de 30 cm
- ▶ S'exposer au moins une heure à la lumière naturelle tous les jours
- ▶ Porter des lunettes de soleil par beau temps, la plus grande source de lumière bleue demeurant le soleil.

QUAND
VOUS REFERMEZ
UNE **Revue**
UNE NOUVELLE VIE
S'OUVRE À ELLE.

EN TRIANT VOS JOURNAUX,
MAGAZINES, CARNETS, ENVELOPPES,
PROSPECTUS ET TOUS VOS AUTRES
PAPIERS, VOUS AGISSEZ POUR UN MONDE
PLUS DURABLE. DONNONS ENSEMBLE
UNE NOUVELLE VIE À NOS PRODUITS.
CONSIGNESDETRI.FR

CITEO

Le nouveau nom d'Eco-Emballages et Ecofolio

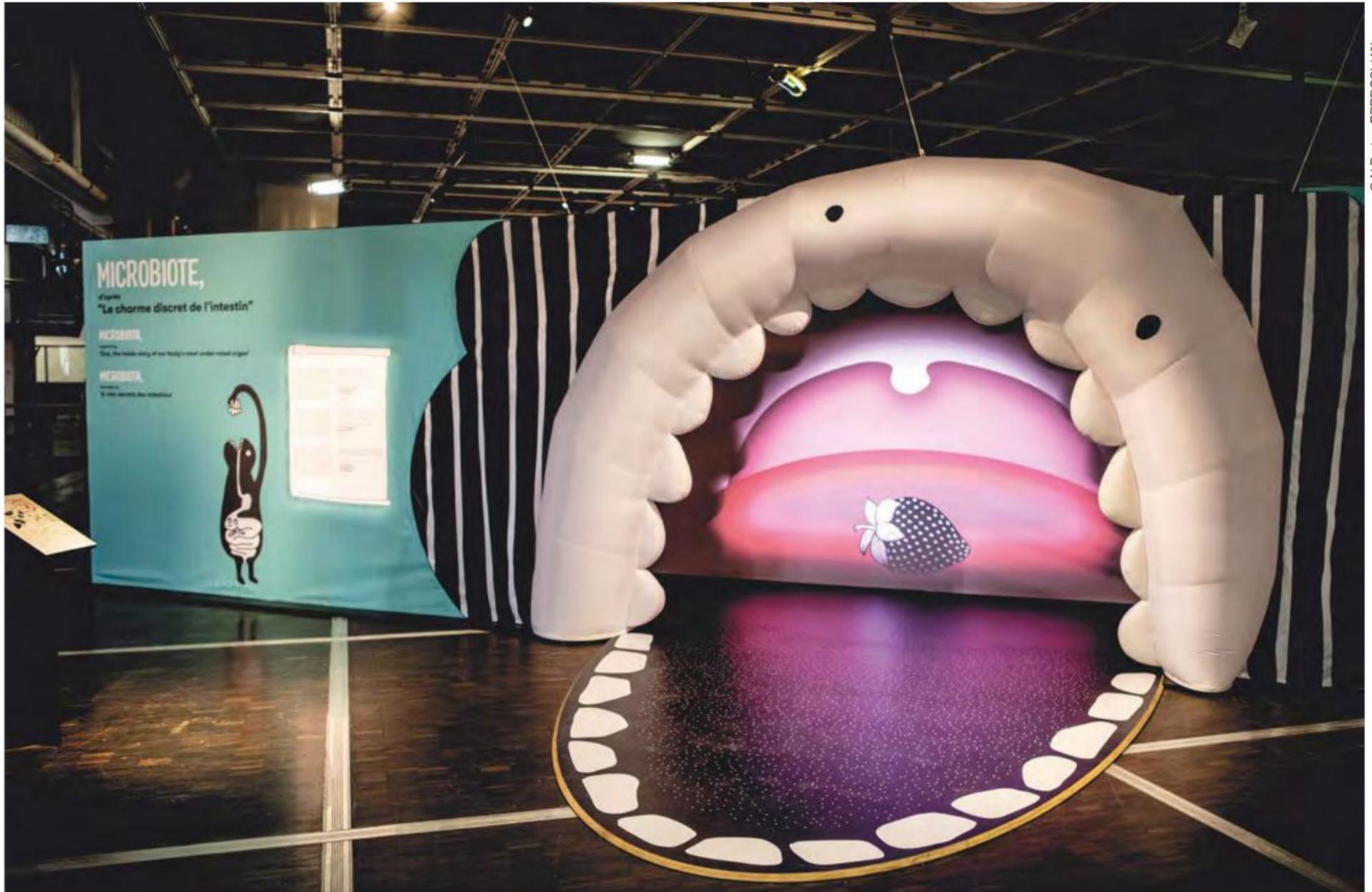
Les secrets du microbiote



© N. Breton-EPPDCSI (3)

Suite au best-seller « Le Charme discret de l'intestin » de Giulia et Jill Enders, la Cité des sciences et de l'industrie a conçu une exposition à la fois amusante et instructive pour tout savoir sur le microbiote intestinal, considéré aujourd'hui comme notre « second cerveau ».

De haut en bas, les mystères de la digestion



© N Breton-EPPDCSI (40)

Le tube digestif commence bien entendu par la bouche. Et c'est par une bouche géante que l'on entre dans l'exposition. Le visiteur découvre des films étonnants sur la déglutition, la digestion et la défécation vues aux rayons X, ainsi que la position des organes digestifs. Il peut même voir des organes humains conservés par la technique de la plastination : de véritables trésors anatomiques !

Puis, en fouillant virtuellement les entrailles, chaque organe peut être observé jusqu'aux plus petits détails, comme les stries de l'oesophage ou les villosités de l'intestin. Un dispositif perfectionné présenté pour la première fois en France.

La surface du conduit digestif est jusqu'à 16 fois plus importante que celle de notre épiderme. En d'autre terme, notre « intérieur »

est davantage en contact avec l'air ambiant que notre « extérieur ». Et c'est justement cet « intérieur » que le visiteur peut voir grâce à des images prises par une caméra pilule.

Ensuite on découvre les supers pouvoirs de la salive. Composée avant tout de sang filtré, passé au chinois par les glandes salivaires qui retiennent les globules rouges, elle présente une concentration en bactéries tueuses assez modérée. Pourtant la salive joue un rôle de pare-feu protecteur pour le système immunitaire.

Entre la dégustation d'un morceau de pomme et son aboutissement au fond de la cuvette, il s'écoule en moyenne une journée. Tout les mystères du processus de digestion sont présentés.

Un virus, une émotion forte, du stress, un mal des transports et voilà, c'est la régurgitation. Pourquoi ? Vomir, c'est le plan d'urgence de l'appareil digestif. Vomir n'est pas la seule force de réponse du corps lors d'une agression extérieure induite par un aliment.

Dans le cas d'une allergie, c'est le système immunitaire qui s'exprime, traduisant une difficulté à fragmenter une protéine en acides aminés. L'allergie résulte alors de la présence de minuscules bouts de protéines dans le sang, et entraîne une attaque de la part des cellules immunitaires envers ces intrus. À chaque conflit, le désordre s'aggrave, car la réplique du système immunitaire s'intensifie.

Dans le cas d'une intolérance, les molécules mal dissociées par l'enzyme digestive ne sont pas assimilées par l'organisme. Elles glissent jusqu'au gros intestin où elles nourrissent les bactéries productrices de gaz.



© Ph Levy-EPPDCSI (1)

Le microbiote : 500 000 millions de gènes

Connaissez-vous *Faecalibacterium Prausnitzii*, *Akkermancia muciniphila* ou encore *Helicobacter pylori* ? Ces bactéries forment l'essentiel du microbiote, composé par ailleurs de virus, levures et autres champignons. Le microbiote assure l'équilibre du corps, et communique avec le système immunitaire, le cerveau et le système nerveux. En effet, l'être humain construit ses défenses immunitaires en grande partie au contact des corps extérieurs. Ce contact se fait principalement dans le système digestif, avec la coopération des bactéries. Il est donc primordial pour la santé d'entretenir ce petit peuple étranger !

Les bactéries du côlon nourrissent le corps, elles rendent certaines substances plus

digestes et produisent elles-mêmes leurs propres substances. Ainsi, elles libèrent énergie et vitamines, et désagrègent toxines et médicaments. Les chercheurs sont encore loin d'avoir découvert tous les secrets que recèle notre microbiote. Pourtant leurs travaux dévoilent qu'un microbiote bien entretenu est synonyme d'un organisme bien-portant, d'un point de vue physiologique, mais aussi psychologique et comportemental.

Mais si le corps humain recèle 23 000 gènes, le microbiote intestinal en détient lui 500 000 millions. Il est impossible de ne pas en tenir compte. La métagénomique est l'analyse globale des gènes d'un être vivant. Le projet MetaHIT de l'Inra est une avancée majeure

de la recherche scientifique, qui permet le premier séquençage des génomes du microbiote intestinal. Un film inédit, réalisé pour l'exposition, présente cette technique

Jusqu'à 8 mètres d'intestin

Incroyable mais vrai, le ventre abrite entre 3 et 6 mètres d'intestin grêle formant des lacets, complété par un bon mètre de gros intestin, appelé le côlon. Ensemble, intestin grêle et côlon abritent plus d'un millier d'espèces de bactéries différentes.

devenue incontournable. Il montre qu'il est possible d'identifier des êtres vivants dans une population, sans pouvoir les distinguer les uns des autres autrement que par leurs gènes.

Ainsi des expériences ont montré que l'injection d'un microbiote intestinal de sujets en surpoids détermine une tendance à l'embonpoint. Le constat est sans appel : s'il est reconnu qu'un individu est influencé par son environnement externe, il l'est aussi par le petit peuple abrité par ses entrailles.

Amies ou ennemies, selon le contexte, les bactéries sont ambivalentes. *Helicobacter pylori* en est une bonne illustration. Elle est dite opportuniste : elle peut aider à combattre l'asthme ou fabriquer une substance toxique pour les cellules nerveuses. Pas d'inquiétude cependant : sur Terre seul 1% de ces microorganismes est pathogène et infectieux.

200 grammes...

...c'est le poids moyen d'un microbiote intestinal. Une bactérie est 8 fois plus petite qu'un globule rouge et 20 fois qu'un globule blanc. Enfin, dans 1 gramme de selle, il y a plus de bactéries que d'humains sur Terre.



© Ph Levy-EPPDCSI (96)

Des conseils très utiles

Comment prendre soin de son microbiote ? Les conclusions pratiques des dernières découvertes scientifiques sont autant de conseils pour la vie quotidienne, sur la prise d'antibiotiques, la consommation de produits fermentés et les habitudes domestiques, quelquefois trop hygiénistes...

L'être humain est influencé par son microbiote. Et ce qui rend la chose si passionnante, c'est que chaque individu possède un microbiote unique en son genre. À quel moment le microbiote s'installe-t-il dans l'organisme ? Comment évolue-t-il et pourquoi n'est-il pas

identique tout au long de la vie ? Comment distingue-t-on probiotique (bactérie ingérée) et prébiotique (aliment ingéré, dont les bactéries raffolent) ? Autant de questions abordées dans un film réalisé exclusivement pour l'exposition.

On ne le répétera jamais assez, il est essentiel de manger des fibres alimentaires, soit tout ce qui ne peut pas être assimilé par l'intestin grêle. 30 grammes par jour sont conseillés. Non digéré par les enzymes, cet ensemble nourrit le côlon qui, bien alimenté, produit de bons acides gras et des vitamines.

Partant du constat que les bactéries sont partout et que 99% d'entre elles sont inoffensives, on comprend également pourquoi un usage systématique d'antibiotiques et une hygiène trop zélée sont à proscrire. Une trop grande réduction de la biodiversité bactérienne est néfaste, il faut apprendre à nettoyer de manière juste et mesurée !

Parmi les interventions médicales effectuées à partir du microbiote, on parle de plus en plus de transplantation fécale. *Clostridium difficile* est une bactérie qui résiste aux antibiotiques et peut ensuite coloniser la place



© N Breton-EPPDCS

devenue vacante dans l'intestin. Les patients ont alors parfois et pendant plusieurs années des diarrhées sanglantes et glaireuses. C'est épuisant pour le corps et le mental. Dans une telle situation, d'audacieux thérapeutes transplantent des équipes de bactéries bien rôdées en même temps que toutes les autres bactéries intestinales de porteurs sains. Il suffit d'avoir

des excréments sains et leur lot de bactéries, et c'est tout. S'agissant d'une greffe médicale, la chance de succès augmente dès lors que les excréments auront été « nettoyés ».

En dépit de son succès (90% de guérison), cette méthode ne peut pour l'instant être utilisée que dans des cas vraiment désespérés, car on ne sait pas encore si, en transplantant les

selles d'autrui, on transpose aussi d'éventuelles maladies ou des germes potentiellement dangereux.

Avant de quitter l'exposition, les visiteurs peuvent découvrir certaines astuces très simples pour mieux entretenir son microbiote. Extraites du livre ou inédites, ces astuces sont rassemblées sur un mur composé d'une succession de colonnes de rouleaux de papier toilette !

S'il est une chose à retenir, c'est que chaque personne possède un microbiote qui lui est propre, composé de milliards de microorganismes, principalement des bactéries dont la diversité et la population dépendent de son régime alimentaire, de son environnement et de son mode de vie. Ce microbiote, en évolution permanente, est un marqueur de l'individu au même titre que ses empreintes digitales. L'être humain est tout sauf une planète déconnectée des autres êtres vivants !

Le Top 3 des conseils à retenir

- **Écouter son corps !** En comprenant ce qu'il nous communique, il est plus facile de le traiter correctement.
- **Notre corps influence notre humeur bien plus que nous ne le penserions ; en avoir conscience aide à mieux s'occuper de soi, corps et âme.**
- **Utilisez des désinfectants seulement à bon escient. Nous sommes davantage en contact avec de bonnes qu'avec de mauvaises bactéries au quotidien.**

Giulia et Jill Enders, « Le charme discret de l'intestin ».*

Nouvelle édition augmentée, 2017, éditions Actes Sud.



© N Breton-EPPDCSI (35)

Microbiote, d'après *Le charme discret de l'intestin*

Conçue avec Giulia et Jill Enders, les auteures allemandes du best-seller « *Le Charme discret de l'intestin* » (paru en France en 2015, vendu à 1 200 000 exemplaires et traduit en plus de 40 langues), et avec l'appui de l'Institut national de

la recherche agronomique, cette exposition raconte l'incroyable vie du microbiote, autrefois appelé flore intestinale. Un univers microscopique aussi complexe que méconnu et qui n'en finit pas d'étonner : chaque personne possède en effet un microbiote qui lui est propre, en évolution permanente, véritable marqueur personnel au même titre que les empreintes digitales.

Il faut ainsi se faire à cette idée le corps humain n'est pas seulement constitué de chair, de sang, d'os et de muscles, mais aussi de tout un petit monde de bactéries, de virus et de champignons. Or, de ce petit monde, 99% réside dans notre intestin, un véritable écosystème ! Ces dix dernières années, les recherches sur le sujet ont imposé l'idée du ventre comme « second cerveau ». Le système digestif est en effet doté de son propre système nerveux et interagit avec l'organisme au cours de la digestion. Coach du système immunitaire, il entretient donc des relations étroites et déterminantes avec le cerveau.

Jusqu'au 4 août 2019

Cité des sciences et de l'industrie

30, avenue Corentin Cariou - 75019 Paris

Tél : 01 40 05 80 00 - www.cite-sciences.fr



LIVRES



MISSIONS SUR LA LUNE



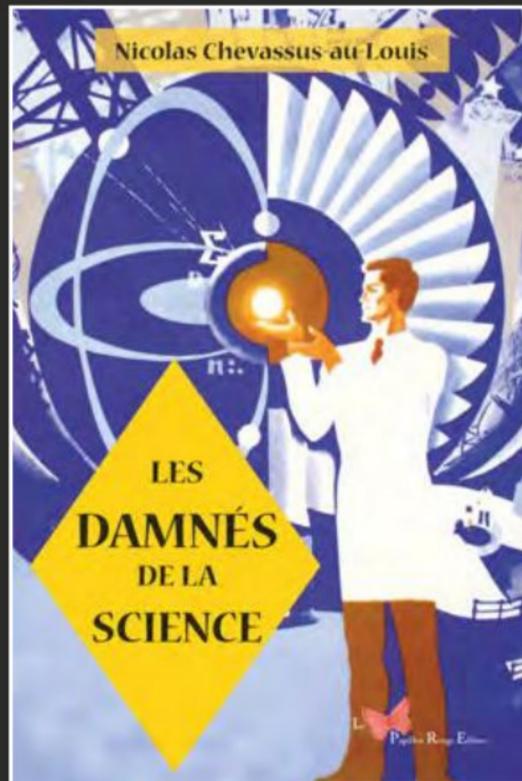
Pour les 50 ans du premier pas de l'homme sur notre satellite, cet ouvrage retrace l'épopée de la course à la Lune, la plus fantastique aventure de l'Histoire : des missiles V1 et V2 au programme Apollo et aux nouvelles missions d'exploration envisagées actuellement. 150 photos exceptionnelles vous font revivre ces événements et, grâce à une application gratuite, des pages interactives vous permettent d'y assister comme si vous y étiez.

« *Missions sur la Lune* », par Rod Pyle
Glénat - 2019 - 176 pages - 35€



LES DAMNÉS DE LA SCIENCE

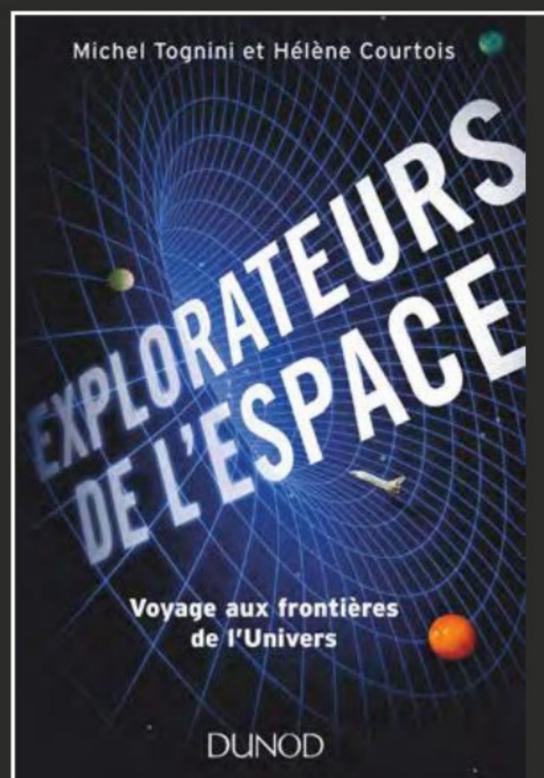
En mathématique, médecine, biologie, physique... les découvertes de ces 20 scientifiques semblaient révolutionnaires mais ils furent au mieux incompris, au pire proscrits par leurs pairs et la société. Certains sont devenus fous ou en sont morts. Ernest Duchesne, qui découvrit 30 ans avant tout le monde la pénicilline, Augustin Le Prince, l'inventeur méconnu du cinéma, Lucien Gaulard, le pionnier oublié de l'électricité... ces inventeurs de génie sont des damnés de la science.



« *Les damnés de la science* »,
par Nicolas Chevassus-au-Louis
Le Papillon Rouge Editeur - 2019
204 pages - 17,90€



EXPLORATEURS DE L'ESPACE



L'exploration spatiale est devenue pour l'humanité un enjeu de civilisation. On envisage de retourner sur la Lune, puis de voyager vers Mars et au-delà... Mais les défis à relever, humains et technologiques, sont immenses. Dans cet ouvrage préfacé par Jean-Yves Le Gall, président du CNES, l'astronaute Michel Tognini et l'astrophysicienne Héléne Courtois explorent les difficultés d'un vol habité vers les confins du Système solaire. Tandis que des astronautes nous font partager leurs plus grandes émotions en vol, ouvrant la voie au tourisme spatial.

« *Explorateurs de l'espace* »,
par Michel Tognini et Héléne Courtois
Dunod - 2019 - 200 pages - 17,90€



HISTOIRE DE LA CONQUÊTE SPATIALE



Pour le 50^{ème} anniversaire de la mission Apollo 11, l'astronaute Jean-François Clervoy et le médecin aérospatial Frank Lehot publient une nouvelle édition largement réactualisée de « *l'Histoire de la conquête spatiale* ». Avec une préface de Thomas Pesquet et une postface de Jean-Loup Chrétien, elle présente parmi ses nouveaux thèmes :

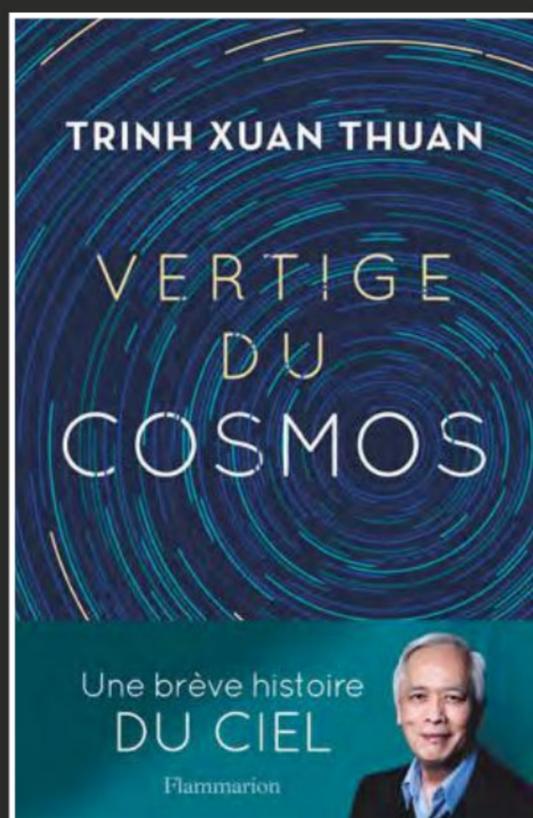
DÉCOUVERTES

le devenir des marcheurs lunaires, le scepticisme lié à certaines missions Apollo qui auraient été montées en studio, ou encore les retombées du programme lunaire dans notre vie quotidienne.

« *Histoire de la conquête spatiale* »,
par Jean-François Clervoy et Frank
Lehot - DeBoeck Supérieur
2019 - 256 pages - 25€



VERTIGE DU COSMOS

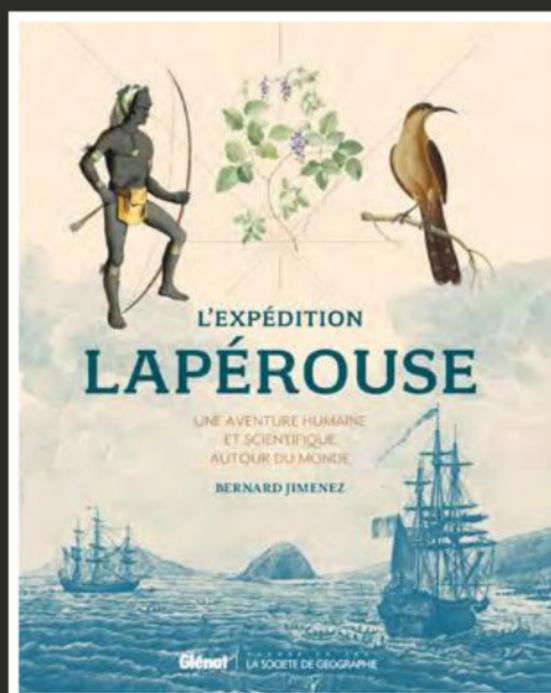


Le célèbre astrophysicien Trinh Xuan Thuan nous propose le grand récit de la vision du cosmos par l'homme, reposant sur les deux notions d'espace et de temps : des prouesses astronomiques de nos ancêtres (Stonehenge, Gizeh...) aux calendriers cosmiques des Amérindiens, des intuitions de Copernic jusqu'aux fulgurances d'Einstein... L'auteur détaille également les énigmes actuelles : l'Univers est-il fini ? Existe-t-il un instant zéro ?

« *Vertige du cosmos* », par Trinh Xuan
Thuan - Flammarion - 2019
464 pages - 21,90€



L'EXPÉDITION LAPÉROUSE



Dans le sillage d'une des plus illustres expéditions maritimes, l'historien Bernard Jimenez nous invite à revivre la plus grande aventure humaine et scientifique du XVIII^e siècle, étape après étape, du départ du port de Brest jusqu'au tragique naufrage à Vanikoro au milieu de l'Océan pacifique sud. L'occasion pour le lecteur de suivre les savants cartographe et inventier le monde, ou encore de vivre les premiers pas de l'anthropologie et de l'ethnologie.

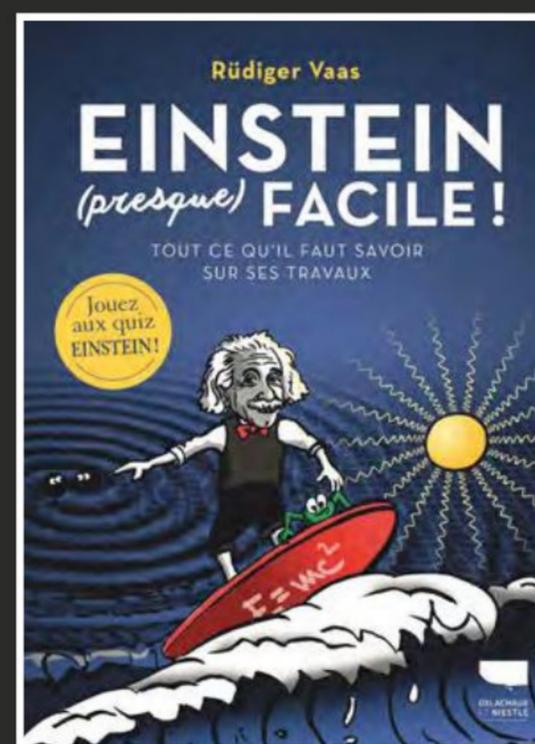
« *L'expédition Lapérouse* »,
par Bernard Jimenez - Glénat
2019 - 208 pages - 35€



EINSTEIN (PRESQUE) FACILE !

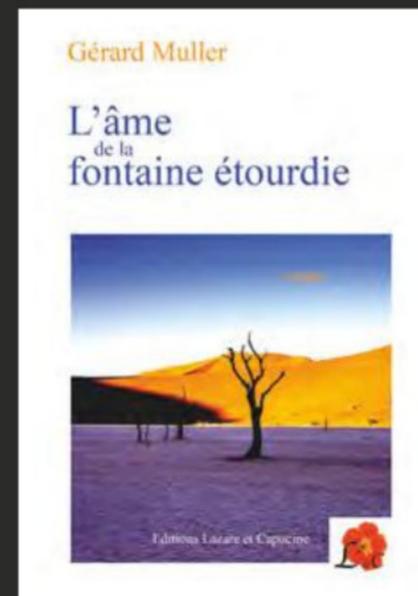
Tout le monde connaît Albert Einstein, mais qui comprend vraiment ses travaux ? Grâce à cet ouvrage illustré de nombreux dessins humoristiques, vous saisissez enfin les apports à la science de ce génie inégalé ! Relativité restreinte, relativité générale, univers des quanta... l'auteur, reporter scientifique expert en cosmologie moderne, décrypte l'ensemble des théories de cet illustre physicien qui a réinventé l'Univers il y a plus de cent ans.

« *Einstein (presque) facile !* », par
Rüdiger Vaas - Delachaux & Niestlé
2019 - 128 pages - 14,90€



L'ÂME DE LA FONTAINE ÉTOURDIE

Et si la physique quantique permettait de communiquer avec l'au-delà ? Dans ce roman d'aventures à l'atmosphère de polar, Gérard Muller, ancien ingénieur de l'industrie aérospatiale, nous emmène en Namibie où chamanes et chercheurs se côtoient à l'occasion de recherches archéologiques. L'auteur, plusieurs fois primé, aborde des thèmes scientifiques tout en nous proposant des réponses originales et un sujet divertissant.



« *L'âme de la fontaine étourdie* »,
par Gérard Muller - Editions Lazare et
Capucine - 2019 - 228 pages - 15€

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

Dans votre article sur la cybercriminalité (Science Magazine n°62), l'ANSSI (l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information) explique que le danger serait très faible s'il n'y avait pas de négligence humaine. Tout repose-t-il donc sur nous autres utilisateurs ?

Florian D.
Paris (14^e)

Science magazine : Assurément. L'agence considère même que nous serions protégés à près de 100% si ses guides et recommandations étaient mieux exploités. On peut déplorer souvent une absence de mise à jour des correctifs de sécurité sur le web, des mots de passe peu renouvelés, ou encore un laxisme dans la gestion des droits d'accès.

Les planètes du système solaire tournent-elles vraiment toutes sur le même plan, comme on les représente généralement ?

Estelle H.
Avignon (84)

Science magazine : En effet, le système solaire ressemble à un disque relativement plat. Les planètes résultent d'un nuage originel de gaz et de poussières. En rotation autour du Soleil, ce nuage s'est aplati naturellement dans le plan équatorial de l'étoile centrale, là où les forces centrifuges sont les plus importantes. Toutes les planètes tournent naturellement dans le même sens autour du Soleil, et tournent dans le même sens sur elle-mêmes excepté Vénus, qui va dans le sens inverse, et Uranus, dont l'axe de rotation est couché dans le plan de l'écliptique.

On entend beaucoup parler du rêve éveillé pour résoudre des blocages psychologiques. En quoi cela consiste-t-il ?

Adrien M.
Lambesc (13)

Science magazine : Après avoir expliqué sa préoccupation au psychothérapeute, le patient s'allonge les yeux fermés mais reste conscient. Son métabolisme s'abaisse avec un ralentissement

des rythmes cardiaque et respiratoire. L'activité du cerveau est alors en ondes alpha (un état de conscience intermédiaire entre le sommeil et le rêve), propices à l'apparition d'images. Il décrit tout ce qu'il voit et ressent et prend ainsi conscience des émotions enfouies à l'intérieur de lui-même.

concevoir des robots de compagnie, il vaudrait mieux vendre par exemple une télécommande de téléviseur avec des touches suffisamment grandes. Et surtout des objets qui obéissent à la voix. Et cela à des prix abordables !

Dominique S.
Ax-les-Thermes (09)

Science magazine : Il est vrai qu'il y a beaucoup de progrès à faire pour rendre la vie plus facile aux personnes âgées. Et, même avec les dernières inventions, les nouvelles technologies restent complexes d'utilisation pour elles. Pour être au courant de l'actualité, vous pouvez consulter le site : www.silvereco.fr

Pourquoi évoque-t-on encore la malédiction Toutankhamon ? Je pensais que c'était un mythe et qu'on avait trouvé la réponse...

Marie-Françoise P.
Champs-sur-Marne (77)

Science magazine : Cette malédiction aurait soit disant pesé sur les découvreurs pour avoir profané le tombeau en 1922. Le mécène de l'expédition, Lord Carnarvon, est mort d'une piqûre de moustique 5 mois après et 27 personnes périrent par la suite, plus ou moins liées à cette découverte. L'explication aujourd'hui la plus plausible serait la présence de champignons toxiques sur les murs de la chambre funéraire très humide.

Cependant de nombreuses personnes n'ont pas été affectées, et les décès recensés ont eu lieu dans les 20 années suivantes, concernant pour beaucoup des individus d'un âge avancé (le découvreur, Howard Carter, ne mourut qu'en 1939). Donc il n'y aurait pas eu vraiment une recrudescence de disparitions. Mais on préfère toujours les légendes...



Comment se fait-il, avec l'accroissement du nombre de personnes âgées, que la France soit tellement en retard dans le domaine des technologies qui leur sont destinées ? Avant de

LA REUSSITE POUR TOUS

Première formation pour cadres dirigeants entrepreneurs sur internet

**Entreprendre
FORMATION**

1^{ère} plate-forme
e-learning
Marketing, commercial,
gestion, RH, direction,
management, finance,
entrepreneuriat...

**Entreprendre
FORMATION**

40 formations vidéo pro et clés en main,
300 experts d'entreprise disponibles 24h/24.
Kit de formation de 120€ ht par an.

www.entreprendre-formation.com