

SCIENCE

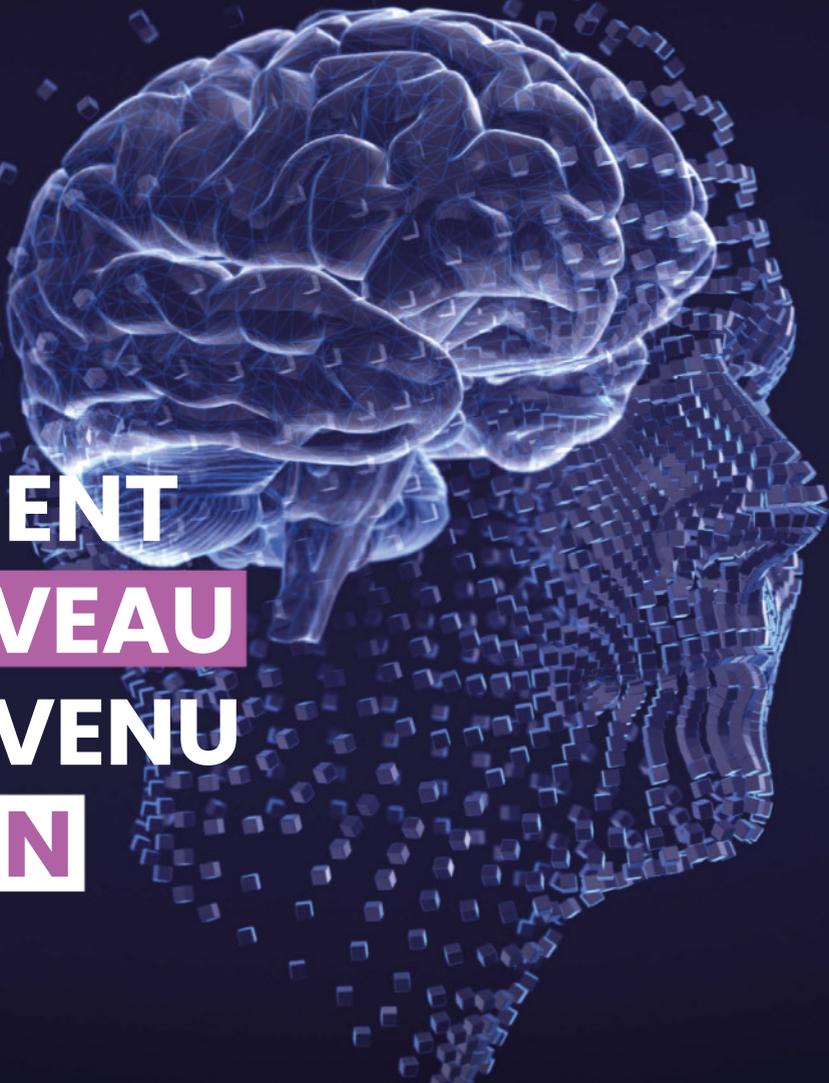
MAGAZINE

GÈNES, BIOLOGIE

D'où nous vient
notre personnalité ?

LES MIGRATIONS

Base de la survie
du vivant



COMMENT
LE CERVEAU
EST DEVENU
HUMAIN

EXPOSITIONS

Sciences et industrie à la Manufacture
des tabacs de Morlaix

CPPAP

L 12580 - 85 - F: 7,80 € - RD





Un long chemin vers l'hominisation

Par Sacha Lorens

Il y a environ 7 millions d'années, la lignée humaine (les *Hominines*) se séparait de la branche des chimpanzés (les *Pan*), les grands singes les plus proches de nous. Australopithèques, *Homo habilis*, *Homo erectus*, Néandertal, *Sapiens*... quelles caractéristiques ont été développées pour faire de nous des hommes ?

Entre les premiers représentants du genre humain et les *Sapiens* du 21^e siècle, le cerveau humain a évolué, a connu maintes transformations et réorganisations ; sa taille a été multipliée par 3. L'humain a inventé l'outil, le feu, l'art, a conquis la terre entière jusqu'à la dominer totalement. Avec un cerveau de quelque 86 milliards de cellules nerveuses, il est aujourd'hui capable de comprendre chaque jour un peu plus la physique, la

chimie, la biologie pour appréhender le monde qui l'entoure, de pratiquer diverses formes d'art, d'inventer dans tous les domaines jusqu'à concevoir des engins voyageant vers d'autres planètes.

La bipédie, la découverte du feu, le langage articulé... toutes ces évolutions ont contribué à l'élaboration du cerveau humain. Le langage articulé, apparu vers 2,5 millions d'années, représente un facteur essentiel de l'évolution de la cognition, avec la mise en place progressive de la conscience.

Le cerveau est l'organe qui nous définit le plus en tant qu'humain. Si nous possédons 98% de génome commun avec les chimpanzés, ces gènes ne s'expriment pas de la même façon et c'est cela qui fait la différence.... ●

Une solution contre les effets dangereux des opioïdes

Des molécules seraient capables de limiter les effets secondaires des opioïdes en bloquant les récepteurs responsables de leur action.

La morphine, le fentanyl et le tramadol... tous sont des opioïdes, une grande famille de produits pharmaceutiques principalement utilisés comme analgésiques puissants. Mais ils ont également un effet euphorisant (de par leur interaction avec les cellules nerveuses du cerveau), sont très addictifs, et s'accompagnent d'effets secondaires dangereux (allant des vertiges à une dépression respiratoire potentiellement fatale). Naturels ou synthétiques, ils sont ainsi devenus les drogues les plus

meurtrières aux États-Unis, et cette crise sanitaire mondiale menace désormais l'Europe. Leur utilisation illégale entraîne près d'un demi-million de décès par an dans le monde.

Des chercheurs de l'Université de Genève (UNIGE) ont découvert une molécule, nommée nanocorps NbE, capable de se lier étroitement et durablement aux récepteurs cellulaires utilisés par les opioïdes, et de ce fait bloquer leur action. De plus, les scientifiques ont pu produire des molécules encore plus petites mais qui conservent les mêmes propriétés. Elles pourraient s'avérer bien plus efficaces que les traitements actuels pour contrer les effets néfastes des opioïdes.



ENFIN DE LA NEIGE SUR LE MONT FUJI !

© contains modified Copernicus Sentinel data (2024), processed by ESA



Le 7 novembre dernier, le plus haut mont du Japon a enfin vu ses premières chutes neigeuses ! La neige n'avait jamais été aussi tardive depuis le début des relevés météorologiques, il y a près de 130 ans. Les scientifiques japonais s'inquiétaient depuis le mois d'octobre : un retard d'un mois a été enregistré, signe d'un monde qui se réchauffe. Le lendemain, le satellite Copernicus Sentinel-2 prit cette image rare.

Les émissions record de méthane mènent à une catastrophe planétaire



Ce sont 400 millions de tonnes métriques de méthane qui ont été émises par les activités humaines en 2020, selon le dernier bilan publié fin 2024 dans le cadre du Global Carbon Project (GCP)*. Et elles représentent désormais les deux tiers des émissions mondiales de méthane. De tels chiffres nous dirigent vers un climat inhabitable, comme l'explique une équipe de climatologues de plusieurs laboratoires, dont le LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement ; CEA/CNRS/UVSQ).

Jamais les concentrations de méthane n'avaient augmenté aussi rapidement que ces 5 dernières années. Comprendre où et pourquoi cela se produit est un objectif prioritaire du Global Methane Budget, une étude menée au sein du GCP. On sait que les températures moyennes à la surface du globe ont battu tous les records en 2023. Le seuil de 1,5 °C d'augmentation a été atteint et on commence déjà à en subir les conséquences. Le méthane, deuxième gaz à effet de serre le plus important après le dioxyde de carbone, a contribué à un réchauffement de 0,5 °C dans les années 2010 par rapport à la fin des années 1800, soit un réchauffement correspondant

à la moitié de celui lié aux émissions de CO₂ (GIEC 2021). Ce gaz augmente plus rapidement que tout autre gaz à effet de serre majeur, et il est aujourd'hui 2,6 fois plus élevé qu'à l'époque préindustrielle.

Les émissions de méthane provenant de l'extraction, du transport et de l'utilisation des combustibles fossiles sont aujourd'hui comparables aux émissions directes de méthane provenant des vaches et d'autres ruminants au niveau mondial ; mais les émissions provenant de l'agriculture et des déchets, y compris les décharges, restent environ deux fois supérieures à celles associées aux combustibles fossiles.

Le méthane fait l'objet d'une attention croissante de la part des politiques. Des estimations plus proches en temps réel des sources de méthane seraient utiles. Elles seront facilitées par de nouveaux satellites tels que MethaneSAT et CarbonMapper qui identifieront et quantifieront les super-émetteurs de méthane.

* Créé en 2001, le *Projet Mondial sur le Carbone* est un projet de recherche qui vise à mobiliser la communauté scientifique internationale afin d'établir une base de connaissances commune sur le carbone.



Nos organes ne vieillissent pas tous à la même vitesse

Le vieillissement des organes et des tissus, marqué par l'augmentation des cellules sénescentes - incapables de se diviser et ayant perdu leurs fonctions - touche plus rapidement le foie ou les reins que la peau ou les intestins. Pour quelle raison ?

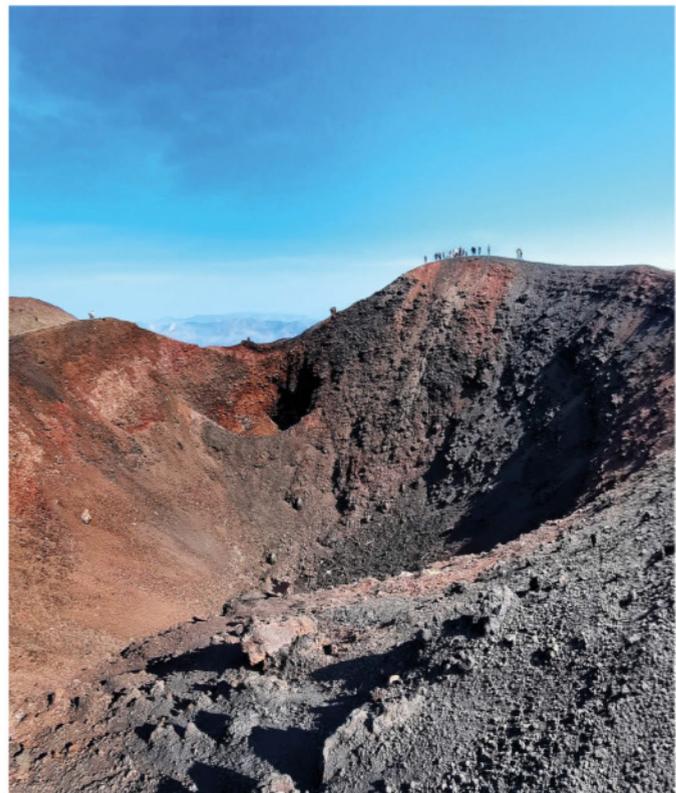
Les mécanismes responsables de ce processus font l'objet de nombreux débats au sein de la communauté scientifique. S'il est largement admis que les dommages causés à l'ADN, et qui s'accumulent avec l'âge, sont à l'origine du vieillissement, le lien entre les deux phénomènes n'est pas élucidé. Une équipe de l'Université de Genève (UNIGE), en collaboration avec l'Inselspital, Hôpital universitaire de Berne, et l'Université de Berne (UNIBE) a découvert que les mutations cachées de l'ADN non-codant sont responsables du vieillissement de certains tissus.

Les chercheurs ont mis en lumière un mécanisme expliquant pourquoi certains organes vieillissent plus rapidement que d'autres. Ils révèlent que les dommages au niveau de l'ADN non codant, souvent cachés, s'accumulent davantage dans les tissus dits « à faible prolifération cellulaire », comme ceux qui constituent le foie ou les reins. Contrairement aux organes qui se régénèrent fréquemment, ces dommages demeurent longtemps inaperçus et empêchent la division cellulaire. Ces résultats ouvrent des pistes pour mieux comprendre le vieillissement cellulaire... et potentiellement le ralentir.

Voir les entrailles des volcans

Une équipe de chercheurs du CNRS de l'Institut Langevin et de l'Institut de physique du globe de Paris a mis au point une méthode d'imagerie innovante permettant de sonder les entrailles d'un volcan à une résolution et une profondeur inégalées jusqu'à présent.

Leur méthode repose sur la disposition d'un réseau de géophones qui captent non seulement les fortes secousses des tremblements de terre, mais également le bruit sismique induit par le vent, l'océan et l'activité humaine. Menée sur le volcan de la Soufrière en Guadeloupe, leur étude a rendu compte de sa structure interne en 3D jusqu'à 10 kilomètres de profondeur, avec une précision de l'ordre de la centaine de mètres. Elle a permis de confirmer l'existence sous le volcan d'une large zone de stockage de magma en profondeur, structurée en un réseau de poches de magma connectées entre elles. Cet outil d'imagerie pourrait servir à mieux anticiper les éruptions volcaniques à travers le monde.



Le secret de l'origine des météorites enfin révélé

Depuis l'Antiquité, les scientifiques cherchent à comprendre d'où proviennent les étoiles filantes et les météorites. Jusqu'ici, on ne connaissait l'origine que de 6% des chutes de météorites. Une équipe de recherche internationale vient d'identifier l'origine de 90% d'entre elles !

L'équipe, menée par un trio de chercheurs du CNRS*, de l'Observatoire Européen Austral (ESO) et de la Charles University (République Tchèque), est tout d'abord parvenue à démontrer que 70% de l'ensemble des chutes de météorites répertoriées proviennent de seulement 3 jeunes familles

d'astéroïdes - Karin, Koronis et Massalia - issues de 3 collisions récentes qui se sont produites il y a 5,8 millions d'années, 7,5 millions d'années, et environ 40 millions d'années dans la ceinture principale d'astéroïdes. La famille de Massalia a été identifiée comme la source de 37% des météorites répertoriées.

Sur plus de 70 000 météorites répertoriées, les 6% jusqu'ici identifiées l'étaient grâce à leur composition (achondrites) comme provenant de la Lune, de Mars ou de Vesta, l'un des plus gros astéroïdes de la ceinture principale. Les 94% inconnues étaient majoritairement des





chondrites ordinaires**. Mais pourquoi tant de météorites proviennent de ces 3 jeunes familles ? En fait, les jeunes familles se caractérisent par une abondance de petits fragments résiduels des collisions. Cela favorise les risques de collisions entre les fragments et, du fait de leur grande mobilité, leurs sorties de la ceinture, potentiellement en direction de la Terre.

Au contraire, les familles d'astéroïdes issues de collisions plus anciennes sont des sources de météorites « taries » dont les petits fragments, autrefois abondants, se sont naturellement érodés jusqu'à disparaître après quelques dizaines de millions d'années du fait des collisions successives et de leur évolution dynamique.

Cette découverte historique a été permise grâce à un relevé télescopique de la composition de

toutes les grandes familles d'astéroïdes dans la ceinture principale, combinée à des simulations numériques de pointe de l'évolution collisionnelle et dynamique de ces grandes familles. Cette méthode a permis également aux scientifiques de retracer l'origine des astéroïdes de taille kilométrique (taille qui menace la vie sur Terre), et notamment les astéroïdes Ryugu et Bennu, récemment échantillonnés par les missions Hayabusa2 (de l'Agence spatiale japonaise - JAXA) et OSIRIS-REx (de la NASA).

* *Du Laboratoire d'astrophysique de Marseille (Aix-Marseille Université / CNRS/CNES).*

** *Météorites composées de silicates, constituant environ 80% de toutes les météorites répertoriées.*

Pourquoi l'expansion de l'Univers s'accélère-t-elle ?

C'est là un des grands mystères scientifiques, qui contredit les lois fondamentales de la physique. En calculant la distorsion du temps et de l'espace, une équipe franco-suisse vient de mettre à l'épreuve les équations d'Einstein.

Selon la théorie d'Albert Einstein, notre Univers se déforme sous l'influence de la matière qui s'y trouve. Ces déformations sont appelées « puits gravitationnels ». La trajectoire de la lumière se trouve déviée par ces puits, comme sous l'effet d'une lentille. On appelle cela l'effet de « lentillage gravitationnel ».

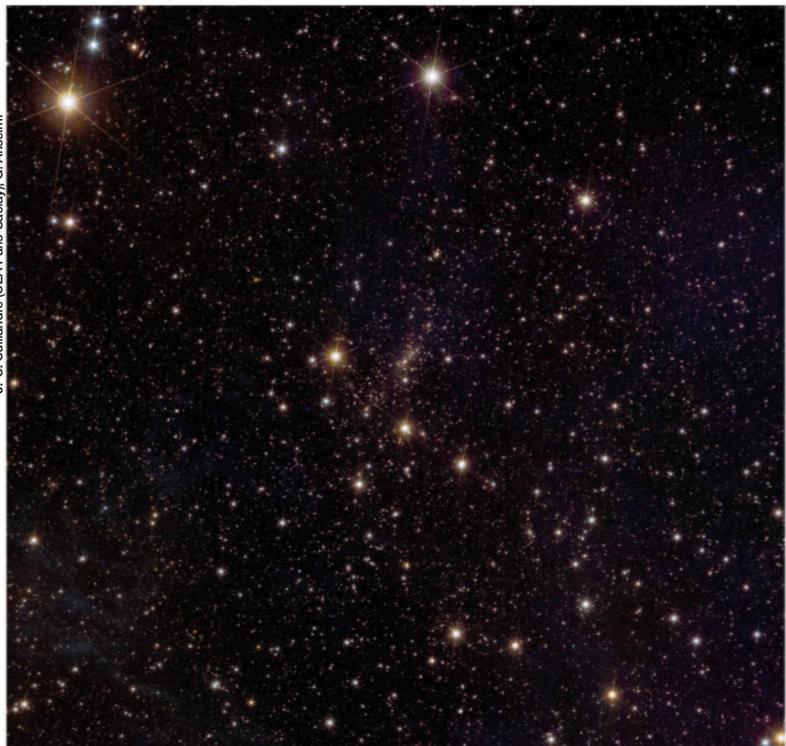
L'observation de cet effet fournit des informations sur les composants, l'histoire et l'expansion de l'Univers. Sa première mesure, effectuée en 1919 lors d'une éclipse de Soleil, a permis de confirmer la théorie d'Einstein, qui prédisait une déviation de la lumière deux fois plus grande que celle d'Isaac Newton. Cette différence s'explique par l'ajout d'un nouvel « ingrédient » par Einstein : la déformation du temps, en plus de la déformation de l'espace, pour obtenir la courbure exacte de la lumière.

Mais que se passe-t-il aux confins de l'Univers ? De nombreux scientifiques s'interrogent, cherchant à quantifier la densité de matière dans le cosmos et à comprendre l'accélération de son

expansion. Grâce aux données du *Dark Energy Survey*, un programme international de relevé de la forme de centaines de millions de galaxies qui permet de regarder très loin dans l'espace et donc très loin dans le passé, une équipe de chercheurs des universités de Genève (UNIGE) et de Toulouse III – Paul Sabatier a pu effectuer des analyses sur 100 millions de galaxies, à 4 moments différents de l'histoire de l'Univers : il y a 3 et demi, 5, 6 et 7 milliards d'années. Ces mesures ont permis de déterminer comment les puits gravitationnels croissaient au cours du temps, sur une période couvrant plus de la moitié de l'histoire du cosmos.

Et il s'avère que très loin dans le passé, il y a 6 et 7 milliards d'années, la profondeur des puits est complètement compatible avec les prédictions d'Einstein. Mais dans la période plus proche, il

© ESA/Euclid Consortium/NASA, image processing by J.-C. Cuillandre (CEA Paris-Saclay), G. Anselmi



Lentillage gravitationnel de galaxies lointaines par l'amas de galaxies Abell 2390, observé par le télescope spatial Euclid.

Il y a 3 et demi et 5 milliards d'années, ils sont un peu moins profonds que prédit par Einstein. C'est dans cette période « proche » d'aujourd'hui que l'expansion de l'Univers s'est mise à s'accélérer. Il est donc possible que la réponse à ces deux étranges phénomènes - l'accélération de l'Univers et la croissance plus lente des puits gravitationnels - soit identique : la gravitation pourrait répondre, à grande échelle, à des lois

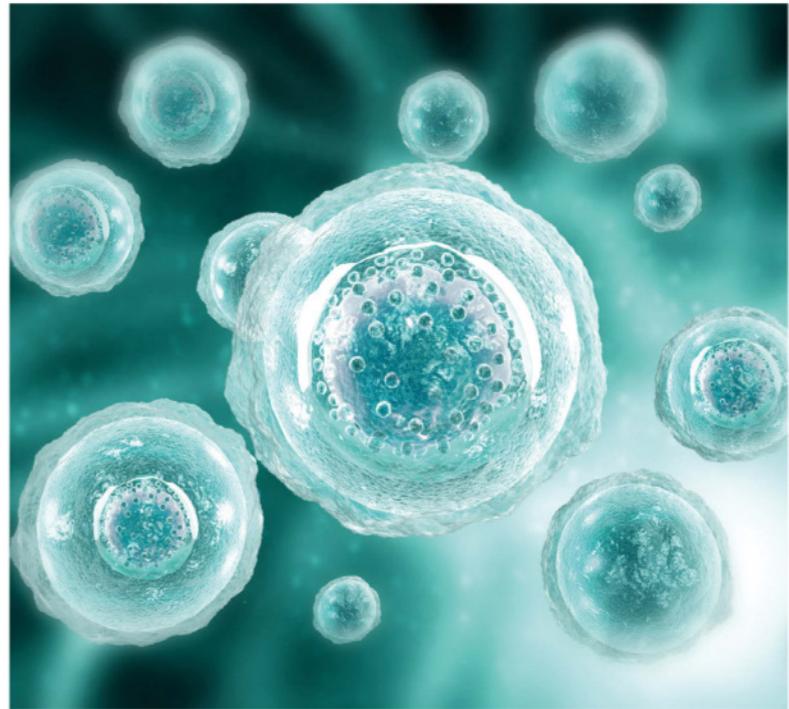
physiques différentes de celles d'Einstein... De nouvelles mesures sont toutefois nécessaires pour invalider les équations du savant, les prédictions d'Einstein n'ayant une incompatibilité que de 3 sigma avec les mesures, alors qu'il faudrait atteindre un seuil de 5 sigma pour la remettre réellement en question. Le télescope spatial Euclid, lancé il y a un an, permettra de remonter encore plus loin dans le temps.

Des gardiens cellulaires très efficaces

Les protéines contrôlent la majorité des fonctions du corps humain. Leur dysfonctionnement peut par conséquent avoir de graves conséquences, comme les maladies neurodégénératives ou le cancer. Mais des protéines chaperonnes sont là pour veiller.

Les cellules ont en effet mis en place des mécanismes pour contrôler la qualité des protéines. On sait que pour fonctionner correctement, les protéines doivent se plier dans des formes tridimensionnelles spécifiques. Des protéines chaperonnes contribuent notamment à ce repliement. Dans les cellules animales et humaines, les chaperons de la classe Hsp70 sont au coeur de ce système de contrôle et supervisent un large éventail de processus biologiques. Ils doivent manipuler avec force la structure des protéines, en les extrayant des agrégats qui se sont formés spontanément ou en les faisant passer à travers des pores étroits, afin de les conduire au sein de compartiments cellulaires clés, tels que les mitochondries.

Cependant, malgré leur rôle crucial, le mécanisme moléculaire précis des chaperons restait insaisissable. En utilisant une technique de pointe de nanopore, une équipe de l'Université de Genève



(UNIGE), en collaboration avec l'EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne), vient de faire une percée significative. L'équipe a montré comment les protéines chaperonnes Hsp70 génèrent la force nécessaire pour manipuler la structure de leurs protéines clientes et comment elles facilitent ainsi le déplacement des autres protéines à l'intérieur des cellules. Ces résultats mettent fin à une décennie de débat.

Stocker l'énergie solaire et la convertir en énergie thermique

Des scientifiques du CNRS et de l'ENS Paris-Saclay* ont identifié une solution pour concevoir des systèmes de stockage d'énergie renouvelable performants et contrôlables !

Si les molécules photochromes peuvent emmagasiner l'énergie lumineuse, pourraient-elles aussi la transformer en chaleur ? L'équipe de chercheurs a identifié un mécanisme permettant à certaines de ces molécules de restituer cette énergie sous forme thermique, puis d'être réutilisées pour réaliser de multiples cycles de stockage/conversion d'énergie. En ajoutant une très faible quantité d'acide, les chimistes sont parvenus à contrôler ce processus réversible de restitution de



chaleur. Ces molécules, très résistantes à la lumière, forment une famille de commutateurs photosensibles originale pour stocker l'énergie solaire sous forme chimique et la transformer "à la demande" en énergie thermique.

** Du laboratoire Photophysique et photochimie supramoléculaires et macromoléculaires (CNRS/ENS Paris-Saclay), en collaboration avec des équipes de l'Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay (CNRS/Université Paris-Saclay) et du laboratoire Procédés matériaux et énergie solaire (CNRS/Université Perpignan).*

Nos mouvements sont gérés par des programmes génétiques complexes

Une équipe de l'UNIGE vient de découvrir les programmes génétiques qui permettent aux neurones moteurs de se rétracter de la moelle épinière. Ces résultats ouvrent des perspectives pour lutter contre la neurodégénérescence.

Le cortex cérébral est la partie externe du cerveau responsable des fonctions cognitives supérieures : la pensée, la perception, la prise de décision, le langage et la mémoire. Il permet également de traiter les informations sensorielles et de contrôler les mouvements. Pour cela, il dédie une partie de son volume au mouvement : le cortex moteur. Les neurones responsables de la contraction musculaire (les neurones cortico-spinaux) possèdent des extensions cellulaires appelées axones qui se projettent du cortex jusque

dans la moelle épinière. Cependant, en dépit de la compartimentation du cortex, on retrouve des neurones cortico-spinaux en dehors du cortex moteur. Pour quelle raison ?

Pendant le développement cérébral, les neurones cortico-spinaux peuvent en effet se transformer en d'autres types de neurones avec des projections, non pas dans la moelle, mais dans le cerveau. Comment s'opère ce processus ? Des neuroscientifiques de l'Université de Genève (UNIGE) ont révélé que tout est affaire de programmes génétiques. Nos gènes décident quelles parties du cortex seront dédiées à nos fonctions motrices, en guidant les projections neuronales. Cette découverte fondamentale ouvre de nouvelles perspectives pour contrer les troubles de la motricité.

UN SPECTACLE DE LUMIÈRE GALACTIQUE !



© ESA/Hubble & NASA, O. Fox, L. Jenkins, S. Van Dyk, A. Filippenko, J. Lee and the PHANGS-HST Team, D. de Martin (ESA/Hubble), M. Zamani (ESA/Hubble)

NGC 1672, une galaxie spirale barrée située à 49 millions d'années-lumière de la Terre, dans la constellation de la Dorade, est particulièrement remarquable de par sa gamme de lumières célestes. Son disque est rempli de milliards d'étoiles. Le long de ses deux vastes bras spiraux, des bulles d'hydrogène font briller une étonnante lumière rouge, résultat de la radiation puissante des étoiles qui s'y forment. Près du centre se situent, dans un anneau de gaz chaud, des étoiles particulièrement spectaculaires, nouvellement formées et extrêmement chaudes qui émettent de puissants rayons X. Et tout au centre se trouve une source de rayons X encore plus brillante, le noyau galactique très actif créé par le disque d'accrétion autour d'un trou noir supermassif.

Quels animaux ont vraiment provoqué la pandémie de COVID-19 ?

Une équipe internationale de recherche, dirigée par une scientifique du CNRS*, dévoile les espèces animales les plus susceptibles d'avoir servi d'hôtes intermédiaires du SARS-CoV-2, le virus responsable de la pandémie de COVID-19. Toutes étaient présentes fin 2019 sur un marché de Wuhan (Chine), épiceutre de la pandémie.

Après la fermeture du marché de Huanan le 1^{er} janvier 2020, des séquençages génétiques ont été effectués sur des échantillons prélevés sur les stands. La présence du matériel génétique du virus SARS-CoV-2 était confirmée ainsi que celui de certains animaux sauvages. Parmi eux, les chiens viverrins (des canidés sauvages proches des renards) et les civettes (de petits mammifères carnivores proches des mangoustes et des hyènes), deux espèces déjà impliquées dans l'émergence du SARS en 2002, et également le rat des bambous et le porc-épic de Malaisie. L'ensemble du matériel génétique des organismes présents dans chaque échantillon a été séquencé (virus, bactéries, plantes, animaux ou humains). L'analyse de ces données a permis de caractériser

le génotype des animaux présents sur le marché et de retracer leur origine géographique probable. Par exemple, les chiens viverrins proviendraient du sud ou du centre de la Chine, et non du nord, là où se trouvent les élevages pour la fourrure.

En parallèle, les chercheurs ont étudié les génomes viraux des premiers patients atteints de COVID-19 afin de retracer l'évolution possible du virus. Et il s'avère que la diversité génétique du virus présente dans le marché était représentative de la diversité génétique des cas humains précoces de la pandémie, d'ailleurs découverts autour de ce lieu. Ce résultat confirme d'autres études fixant l'origine de la pandémie sur ce marché, provoquée par l'introduction d'animaux infectés à la fin 2019. L'étude révèle aussi la présence d'autres virus zoonotiques sur le marché, soulignant le risque élevé de nouvelles pandémies liées à la vente d'animaux vivants au sein de villes densément peuplées.

* De l'Institut d'écologie et des sciences de l'environnement (CNRS/Sorbonne Université/UPEC/IRD/INRAE).



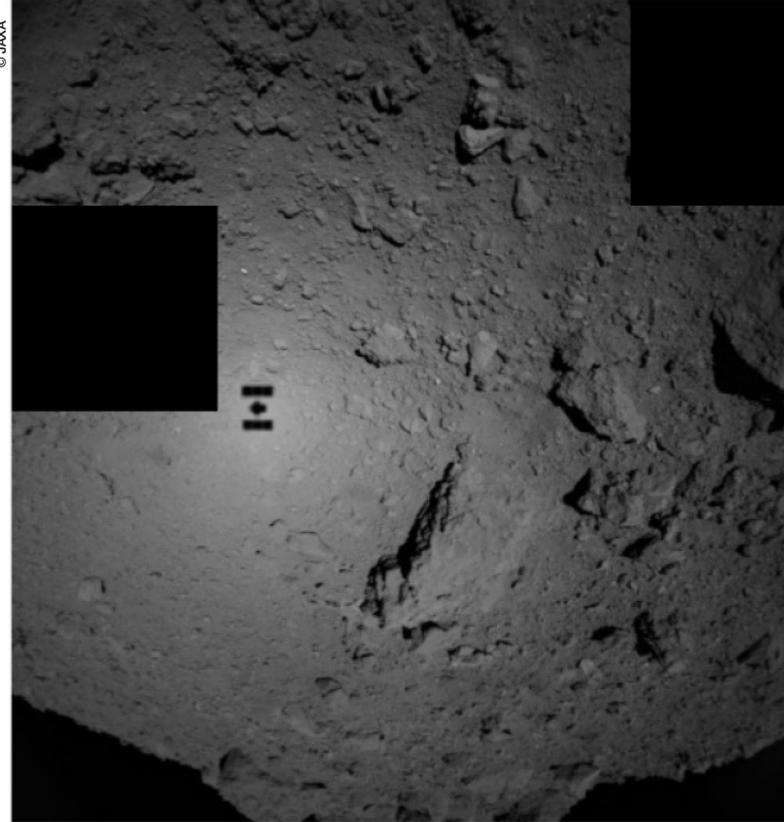
On en sait plus sur l'origine de la vie sur Terre

Et cela grâce aux échantillons de l'astéroïde Ryugu. Des composés phosphorés hydratés riches en ammonium et magnésium y ont été découverts par une équipe internationale. Ces composés ont pu représenter une source clé de phosphore et d'azote nécessaires au démarrage de la chimie prébiotique sur la Terre primitive.

Les petits corps du Système solaire sont les vestiges d'une histoire mouvementée qui remonte à plus de 4,5 milliards d'années. Déterminer leur composition permet de contraindre les modèles de formation et d'évolution du Système solaire et de mieux cerner leur contribution éventuelle à la chimie de la Terre primitive.

Fin 2020, la mission japonaise Hayabusa2 de la JAXA (l'Agence spatiale japonaise) a rapporté sur Terre des échantillons de l'astéroïde carboné Ryugu. Ils sont conservés dans un laboratoire sécurisé près de Tokyo, où figure un instrument français, MicrOmega, un microscope hyperspectral conçu et développé à l'Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS - Université Paris-Saclay/CNRS) avec le soutien du CNES.

Pour la première fois, la mission de retour d'échantillons Hayabusa2 offre la possibilité d'analyser en laboratoire une matière extraterrestre primordiale, riche en carbone et dénuée de toute altération terrestre. Les travaux d'une équipe internationale menée par des scientifiques de l'IAS ont mis à jour la découverte de composés phosphorés très particuliers et d'intérêt majeur pour des réactions biochimiques. Ces composés ont été identifiés et caractérisés avec l'instrument MicrOmega, puis dans des centres de recherche spécialisés au Japon, en France (Synchrotron SOLEIL et IAS) et au Royaume-Uni. Ces analyses ont permis d'identifier une catégorie de composés hydratés riches en ammonium, magnésium et phosphore (dénommés



Arrivée de la sonde Hayabusa2 sur l'astéroïde Ryugu (on peut distinguer l'ombre du vaisseau spatial).

"HAMP"), présents sous forme de grains et d'inclusions dont la taille peut atteindre plusieurs centaines de microns.

Cette découverte appuie l'idée que le matériau composant Ryugu se serait accrété et aurait en partie évolué dans le Système solaire externe, loin de sa région actuelle. De plus, une particularité essentielle des HAMP est qu'ils ont pu favoriser la libération, puis la réaction, d'espèces riches en phosphore et en azote lors de leur immersion dans les réservoirs d'eau terrestres primitifs. Ils auraient donc pu jouer un rôle essentiel dans l'évolution vers le vivant sur Terre.



Des augmentations de CO₂ atmosphérique déjà au cours des 500 000 dernières années

Une nouvelle étude soutenue par le programme *Make Our Planet Great Again* dans le cadre du projet HOTCLIM a mis en lumière de nouvelles variations rapides, au sein des fluctuations globales, des concentrations de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère au cours des 500 000 dernières années. Ces phénomènes, appelés « sauts de CO₂ », constituent des événements majeurs.

Les recherches ont été effectuées dans l'atmosphère ancien piégé dans les carottes de glace prélevées en Antarctique (à EPICA Dome C) par une équipe scientifique internationale conduite par l'Institut des géosciences et de l'environnement de Grenoble (IGE - CNRS/INRAE/IRD/UGA - Grenoble INP-UGA) associé au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, LSCE (CEA/CNRS/UVSQ), à l'Université New South Wales, et à l'Université de Bern. Les « sauts » de CO₂ correspondent à des augmentations d'une dizaine de ppm des concentrations atmosphériques en CO₂, c'est-à-dire le nombre de particules de CO₂ observées parmi les millions de particules d'air, sur une période de quelques dizaines à quelques centaines d'années. A savoir que le taux d'augmentation actuelle de la concentration de CO₂ (environ 2,5 ppm/an), causé par les activités humaines, est 10 fois supérieur à ces « sauts » qui sont de l'ordre

de 10 ppm en quelques dizaines d'années. Les chercheurs ont identifié dans cette étude 7 nouveaux sauts et ont mis en évidence que 18 des 22 sauts de CO₂ enregistrés au cours des 500 000 dernières années se sont produits pendant des périodes où l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite autour du Soleil, appelée obliquité, était élevée. Ils ont également démontré que, dans un contexte de forte obliquité, les différents réservoirs de carbone terrestre, notamment la végétation continentale, sont particulièrement sensibles aux changements climatiques liés aux modifications majeures de la circulation océanique Atlantique. La perturbation de ces réservoirs de carbone déclenche dans l'atmosphère des relargages massifs de carbone qui sont à l'origine de ces sauts de CO₂.

La Terre se trouve justement aujourd'hui dans l'une de ces périodes de haute obliquité. En cas de perturbation majeure de la circulation océanique Atlantique, notamment un ralentissement de l'AMOC (*Atlantic Meridional Overturning Circulation*), une quantité de carbone équivalente à 4 années d'émissions anthropiques mondiales (au rythme des émissions moyennes de la période 2010-2019) pourrait être relarguée en l'espace de quelques dizaines d'années, se superposant aux émissions anthropiques actuelles.

Qu'est-ce qui fait évoluer le cerveau des primates ?

Diverses études effectuées en laboratoire ont montré que, chez l'humain et les macaques, certaines régions cérébrales spécifiques, impliquées dans des processus cognitifs précis, étaient activées lors d'interactions sociales ou de recherche de nourriture. Est-ce identique en milieu naturel ? L'évolution du cerveau des primates fut-elle conditionnée par ces activités ?

De nombreuses études se sont intéressées aux mécanismes sous-jacents à l'évolution des capacités cognitives chez les primates, par exemple en utilisant la taille du cerveau comme indicateur. Parmi les hypothèses majeures, on relève celle dite du « cerveau social » et celle du « cerveau écologique ». La première suppose que, plus les interactions sociales sont complexes, plus elles nécessitent des compétences cognitives élevées ; alors que la seconde explique le développement de ces compétences par la complexité des représentations mentales de l'environnement dans le cadre de la recherche de nourriture.

Ces études en laboratoire suggèrent que les systèmes cérébraux potentiellement impliqués dans la cognition sociale et la recherche de nourriture se chevauchent partiellement, en particulier au niveau du cortex préfrontal, siège des fonctions exécutives qui permettent d'organiser le comportement dans l'espace et dans le temps. Mais en milieu naturel, les comportements sont autrement plus complexes.

Une équipe interdisciplinaire de spécialistes de neurosciences cognitives, d'écologie comportementale et d'évolution, menée par Sébastien Bouret de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (CNRS/INSERM/SU) et Cécile

Garcia du laboratoire Éco-Anthropologie (CNRS/MNHN/UPC), s'est penchée sur deux régions spécifiques du cortex préfrontal : le pôle frontal (PF), directement impliqué dans la métacognition (la réflexion sur ses propres processus mentaux), et le cortex préfrontal dorsolatéral (CPFDL), directement impliqué dans la mémoire de travail. En laboratoire, on observe que le PF est mobilisé à la fois dans certaines formes d'interactions sociales et de planification, alors que le CPFDL semble impliqué uniquement dans les processus de planification. Cela peut-il expliquer les différences cérébrales entre les espèces en milieu naturel ?

Pour y répondre, les chercheurs ont mené des analyses neuro-anatomiques sur des cerveaux issus de différentes collections, notamment celles du MNHN, et sur des bases de données d'imagerie, puis ont compilé des données socio-écologiques issues de la littérature. Ils ont ainsi montré que les volumes du PF et du CPFDL étaient liés à la distance moyenne que les animaux parcourent chaque jour, notamment pour trouver de la nourriture dans leur environnement naturel. Les espèces qui doivent parcourir de plus longues distances auraient donc possiblement de meilleures capacités de métacognition (par le PF) et de mémoire de travail (par le CPFDL). De même, comme constaté en laboratoire, seul le PF a montré un lien significatif avec une variable associée à la complexité sociale (la densité des groupes).

Les processus neuro-cognitifs identifiés en laboratoire pourraient donc être reliés à la diversité des comportements des primates dans leur milieu naturel.

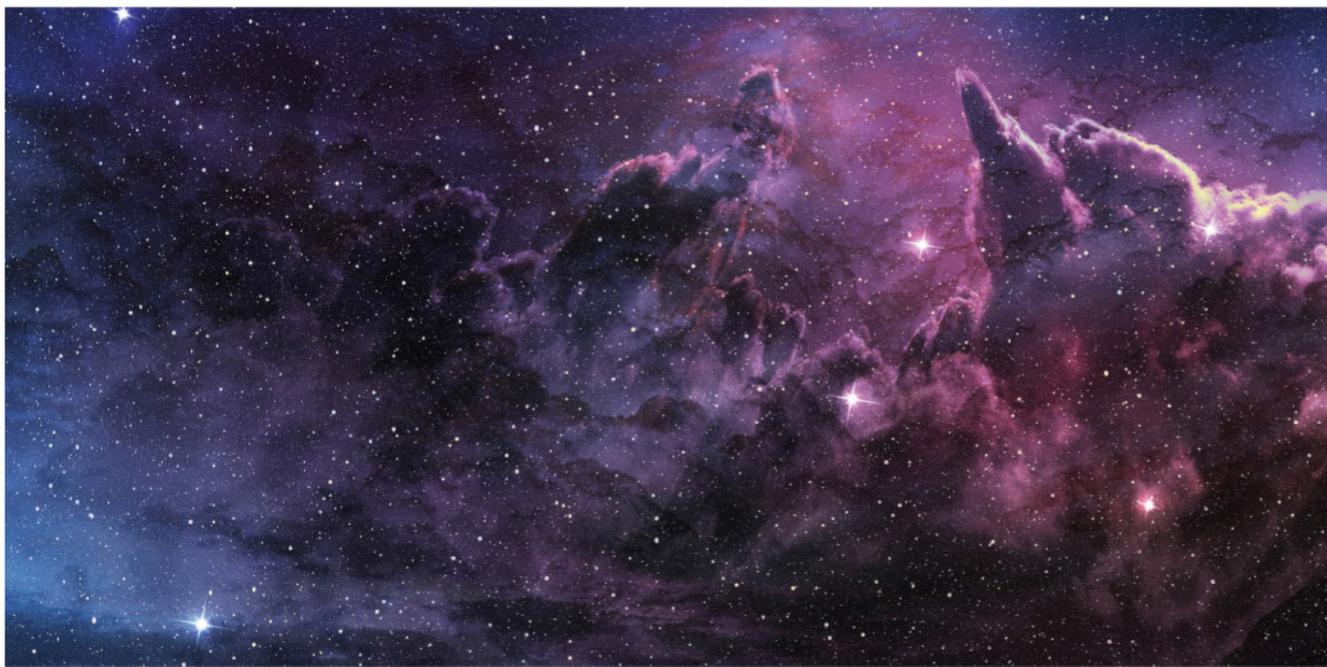
Ils ont fabriqué de la poussière d'étoiles...

La poussière cosmique joue un rôle crucial dans l'évolution galactique, du milieu interstellaire aux étoiles, mais sa formation est encore mal comprise. Et il est difficile de recréer les conditions astrophysiques stellaires en laboratoire, notamment produire un gaz multi-élémentaire de composition contrôlée et le condenser dans des conditions d'équilibre ou de déséquilibre à haute température (2 000 à 3 000 K). Des chercheurs français y sont parvenus...

Des scientifiques de Mines Paris-PSL, d'Université Côte d'Azur, de l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA), de l'ENS de Lyon et du CNRS ont utilisé la torche à plasma AC de gros volume du laboratoire niçois PERSEE pour simuler expérimentalement les processus de condensation à haute température opérant dans les enveloppes circumstellaires d'étoiles riches en carbone. Un mélange gazeux de composition chondritique a été utilisé pour ces expériences. La vapeur formée dans le plasma s'est condensée selon le gradient de température au sein d'une chambre de condensation de près d'un mètre de hauteur. Puis les condensats ont été échantillonnés le long du gradient thermique et analysés pour leur chimie et leur minéralogie.

Les données expérimentales supportent un scénario de condensation cinétiquement contrôlé par l'écoulement du gaz, et qui permet de reproduire fidèlement la formation de carbures, siliciures, nitrures, sulfures, oxydes et silicates correspondant à la séquence des phases minérales obtenues par condensation dans des conditions de haute température avec des rapports C/O élevé. Ces résultats confirment pour la première fois les prédictions thermodynamiques pour des milieux circumstellaires riches en carbone, et ils soulignent l'importance des effets cinétiques dans la formation de la poussière. Les simulations thermodynamiques permettent aussi d'évaluer l'influence de paramètres physico-chimiques, comme la pression, sur la composition minéralogique des condensats, offrant ainsi un cadre théorique robuste pour l'interprétation des observations astrophysiques.

Les chercheurs ont donc démontré la faisabilité de prédire la minéralogie de la poussière formée dans les environnements des étoiles de type AGB : une avancée pour quantifier la formation et la composition de la poussière dans divers environnements astrophysiques.



L'AUTOMNE VU DE L'ESPACE



© contains modified Copernicus Sentinel data (2024), processed by ESA

Les couleurs de l'automne sur les côtes ouest du nord de la Macédoine et de la Grèce ont été photographiées ici par le satellite Copernicus Sentinel-2. Dans ces régions, les espèces d'arbres prédominantes sont le hêtre européen en haute altitude et le chêne à basse altitude. Il en résulte une étonnante palette de brun, rouge et vert, typique de la saison automnale. Et l'intensité des couleurs varie avec l'altitude.

Pourquoi voit-on tout en noir ?

Percevoir de façon excessivement négative les stimuli sensoriels et les situations de la vie quotidienne sont des caractéristiques de la dépression. Mais les mécanismes sous-jacents à ce « biais de négativité », susceptible d'alimenter le trouble dépressif, restaient jusqu'à aujourd'hui mal connus. Un dysfonctionnement de certains neurones en serait à l'origine.

Des chercheurs de l'Institut Pasteur et du CNRS, en collaboration avec des psychiatres du GHU Paris Psychiatrie et Neurosciences, de l'Inserm et du CEA, ont exploré l'amygdale et observé son fonctionnement au cours d'épisodes dépressifs. Ils ont ainsi mis en évidence que l'état dépressif induirait une altération de certains circuits neuronaux spécifiques, avec une réduction de l'activité des neurones impliqués dans la perception agréable des stimuli positifs, et a contrario une suractivation de ceux responsables



de la perception des stimuli négatifs. Ces résultats pourraient aider à mettre au point de nouveaux médicaments pour les personnes résistantes aux traitements classiques.

L'énigme de l'œuf ou la poule résolue ?

Le développement embryonnaire aurait existé avant l'évolution des animaux. C'est ce que suggère une division cellulaire semblable à celle d'un embryon animal observée chez un unicellulaire préhistorique..

A l'origine de la vie sur Terre, les premières formes vivantes étaient unicellulaires, comme les levures ou les bactéries. Plus tard, les animaux, se développant à partir d'une cellule unique, la cellule-œuf, ont évolué vers des organismes multicellulaires complexes. Ce développement embryonnaire suit des étapes précises, étonnamment similaires entre les espèces animales, et il pourrait remonter à une période bien antérieure à l'apparition des animaux. Le passage des espèces

unicellulaires aux organismes multicellulaires demeure cependant très mal compris.

Une équipe de l'Université de Genève (UNIGE) s'est penché sur *Chromosphaera perkinsii*, ou *C. perkinsii*, une espèce ancestrale de protiste. Cet organisme unicellulaire s'est séparé de la lignée évolutive des animaux il y a plus d'un milliard d'années, offrant un aperçu précieux des mécanismes qui ont possiblement conduit à la transition vers la multicellularité.

Les scientifiques ont découvert que les cellules de *C. perkinsii*, une fois leur taille maximale atteinte, se divisent sans croître davantage, formant des colonies multicellulaires ressemblant aux stades précoces du développement embryonnaire animal.

Fait inédit, ces colonies persistent pendant environ un tiers de leur cycle de vie et elles comportent au moins deux types de cellules distincts, un phénomène surprenant pour ce type d'organisme.

« Bien que *C. perkinsii* soit une espèce unicellulaire, ce comportement montre que des processus de coordination et de différenciation multicellulaires sont déjà présents dans l'espèce, et ce bien avant l'apparition des premiers animaux sur Terre », explique Omayya Dudin, la chercheuse du Département de biochimie de la Faculté des sciences de l'UNIGE qui a dirigé ces travaux.

Encore plus étonnant, la façon dont ces cellules se divisent et la structure tridimensionnelle qu'elles adoptent rappellent de manière frappante les premiers stades du développement embryonnaire chez les animaux. En collaboration avec le Dr. John Burns (*Bigelow Laboratory for Ocean Sciences*), l'analyse de l'activité génétique au sein de ces

colonies a montré des similitudes intrigantes avec celles observées dans les embryons animaux ; ce qui suggère que les programmes génétiques régissant le développement multicellulaire complexe étaient déjà présents il y a plus d'un milliard d'années.

L'étude montre donc que, soit le principe du développement embryonnaire existait avant les animaux, soit des mécanismes de développement multicellulaire ont évolué séparément chez *C. perkinsii*. Cette découverte pourrait aussi apporter un éclairage nouveau sur un débat scientifique de longue date concernant des fossiles vieux de 600 millions d'années qui ressemblent à des embryons, et elle pourrait ainsi remettre en question certaines conceptions traditionnelles de la multicellularité. La nature aurait apparemment disposé des outils génétiques pour « créer des œufs » bien avant d'avoir « inventé les poules »...



Mieux mesurer la menace des invasions biologiques

Les espèces exotiques envahissantes représentent une menace majeure pour la biodiversité, notamment en raison du déclin des populations indigènes qu'elles entraînent à travers la planète. Un nouvel indice va permettre de mesurer ce degré de menace.

Animaux ou végétaux, les espèces exotiques envahissantes (EEE) constituent une menace pour les écosystèmes. Plus de 40 000 espèces exotiques se propagent sur la planète, dont 3 700 sont des EEE. Jusqu'alors, on s'intéressait aux aspects quantitatifs et au nombre d'espèces menacées, négligeant leur rôle écologique. Dans le contexte de la COP16 pour la biodiversité, identifier les principales espèces menacées par les invasions biologiques afin d'atteindre les objectifs du

cadre mondial de la biodiversité de Kunming à Montréal 2030 est essentiel. Ce dernier impose de réduire les introductions des espèces exotiques envahissantes de 50% et de minimiser leurs impacts d'ici à 2030.

Une équipe scientifique du Laboratoire Écologie - Systématique - Évolution (ESE - Univ. Paris-Saclay/CNRS/AgroParisTech) et du Centre d'Écologie et des Sciences de la Conservation (CESCO) du Muséum national d'Histoire naturelle vient de combler cette lacune en développant un indice, le score FUSE INS (*Functionally unique, specialized, and endangered by invasive non-native species*). Actuellement, les outils de conservation nécessitent de faire un triage de la biodiversité et d'établir des priorités au



sein des groupes taxonomiques. Tandis que ce score permet pour la première fois de combiner l'irremplaçabilité fonctionnelle (c'est-à-dire l'unicité et la spécialisation du rôle des espèces dans les écosystèmes) avec leur risque d'extinction causé par la présence des espèces exotiques envahissantes. L'étude a été menée sur 3642 vertébrés terrestres exposés aux EEE en évaluant la façon dont elles les impactaient.

Les résultats montrent que 38% des espèces indigènes sont menacées d'extinction en raison des EEE alors même que leur impact sur la biodiversité est primordial, ce qui en ferait des espèces prioritaires à protéger de cette menace à l'échelle mondiale. Les espèces prioritaires d'amphibiens sur la liste rouge de l'UICN se concentrent en Amérique centrale et à Madagascar, et les lézards dans les îles des Caraïbes, le nord de l'Australie, la Nouvelle-Zélande et la Nouvelle-Calédonie. Les espèces d'oiseaux et de mammifères prioritaires sont plus largement distribuées à travers le monde. Les oiseaux, principalement dans les zones côtières, sur les îles du Pacifique et dans le nord de l'Inde et de la Nouvelle-Zélande. Les mammifères, dans le sud-ouest de l'Europe, en Afrique centrale, orientale et méridionale, en Asie du Sud-Est et dans l'est de l'Australie. Pour les 50 espèces d'oiseaux les plus prioritaires, 64% nécessitent encore aujourd'hui des mesures de conservation afin d'atténuer la menace représentée par les EEE.

Le score FUSE INS peut aider à établir des listes de priorités de conservation pour les espèces menacées par les EEE alors qu'elles figurent parmi les plus essentielles en matière de biodiversité. L'intégration de la diversité fonctionnelle dans l'établissement des priorités de conservation des espèces et des zones associées est essentielle afin de réduire et atténuer avec précision les impacts des espèces extrêmes envahissantes sur la biodiversité.

Des émissions de CO₂ par les coquillages

Non, les élevages de coquillages ne captent pas du dioxyde de carbone atmosphérique. En fait, les coquillages émettent du CO₂ en fabriquant leur coquille. Y a-t-il des solutions pour réduire ces émissions ?

Des scientifiques de l'Ifremer, du CNRS, de l'Université de Gothenburg (Suède) et du Laboratoire de radioécologie de l'Agence Internationale d'Énergie Atomique de Monaco, ont examiné 51 articles scientifiques étudiant le lien entre les coquillages et le CO₂. Et ils ont pu constater, en règle générale, une conception erronée de la chimie des carbonates. En fait, le carbone des coquilles ne provient pas du CO₂ atmosphérique, mais d'ions carbonate ou bicarbonate provenant de l'érosion des roches. « *Leur incorporation dans les coquilles n'entraîne donc pas de capture du CO₂ présent dans l'atmosphère* » souligne Fabrice Pernet, chercheur à l'Ifremer en écologie des organismes marins.

C'est même l'inverse qui se produit ! Au lieu d'absorber du CO₂, les coquillages en émettent. En plus de la respiration, la calcification à l'origine de la fabrication de la coquille libère du CO₂ dans l'eau, et plus l'océan contient de CO₂, moins il est en capacité d'absorber celui qui est présent dans l'atmosphère.

Deux solutions efficaces pourraient améliorer le bilan des émissions de CO₂ de la filière : un retour des coquilles à l'océan, ou le développement de la co-culture d'algues sur les surfaces conchylicoles. En effet, la dissolution de la coquille consomme du CO₂. « *Aujourd'hui, les déchets coquillés sont malheureusement incinérés en grande partie et ainsi transformés en CO₂ atmosphérique* », explique Fabrice Pernet. Par ailleurs, grâce au processus de photosynthèse, les algues transforment le CO₂ en biomasse. Leur culture, associée aux coquillages, permettrait donc de capturer une partie du CO₂ excédentaire lié à l'élevage.



Comment le cerveau est devenu humain

Il est communément admis que notre cerveau a augmenté de taille depuis les débuts de l'humanité, tout comme la taille du corps en général. Cette augmentation cérébrale a permis la naissance d'aptitudes nouvelles : fabrication d'outils, intensification des interactions sociales, développement des arts, du langage, de la pensée abstraite... En retour, toutes ces compétences ont contribué à un perfectionnement des fonctions cérébrales. Mais quelles en furent les étapes ?

L'encéphalisation est un processus multifactoriel. La bipédie a obligé à la naissance d'enfants plus

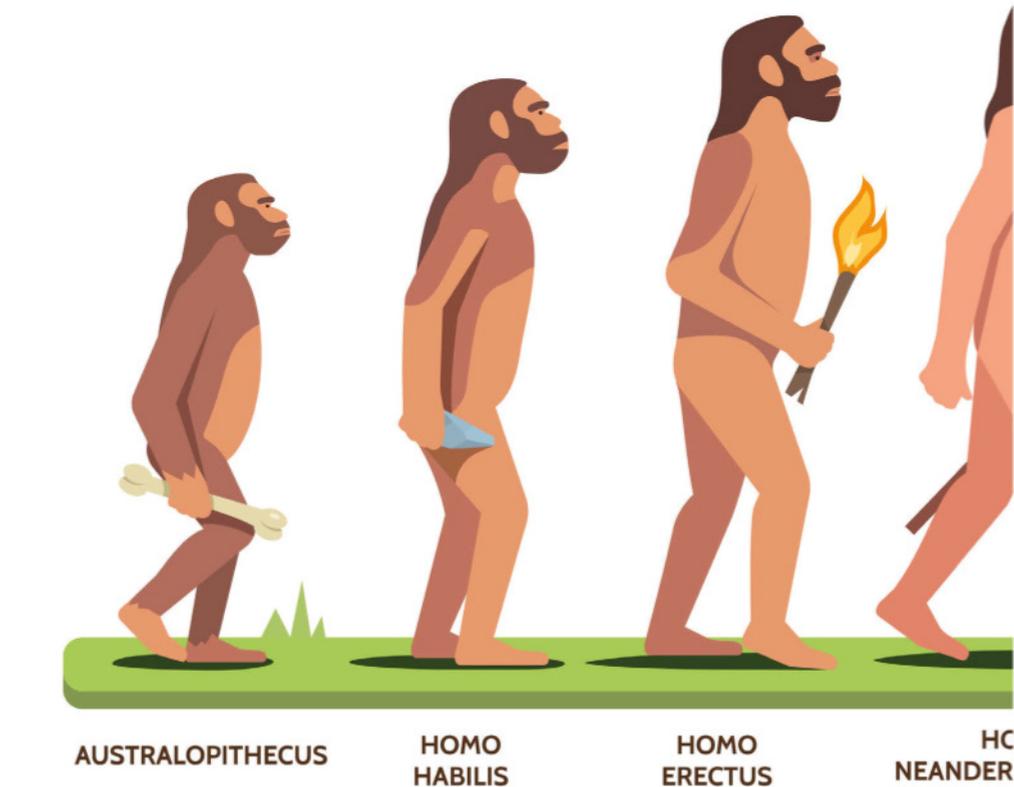
petits, dont le cerveau va se développer majoritairement après la naissance dans un riche environnement. Le feu a permis l'assimilation d'une nourriture plus calorique et une réduction du temps et de l'énergie consacrée à la digestion, énergie employée alors par le cerveau. Etc, etc.

Au cours des derniers 300 000 ans, la taille du cerveau de *Sapiens* a peu changé, mais sa forme a évolué : il est devenu moins allongé vers l'arrière et plus globulaire. De nombreuses réorganisations ont eu lieu. Des mutations génétiques ont participé à cette transformation pour rendre cet organe essentiel différent de tout autre dans le vivant.

De Toumaï à *Sapiens*

Les primates ont un cerveau plus gros que la plupart des autres mammifères de même taille. Et l'homme, avec aujourd'hui 1350 cm³ d'endocrâne, devance largement les grands singes : les gorilles (750 cm³), les chimpanzés (340 à 750 cm³) et les orangs-outans (275 à 500 cm³). Par rapport à notre taille, le cerveau occupe une place importante. Si l'on compare l'humain avec un animal de masse corporelle équivalente, notre cerveau est 6 à 7 fois plus massif qu'il ne devrait l'être.

Pour étudier l'évolution cérébrale au cours du temps, il faudrait pouvoir examiner un cerveau fossile. Malheureusement ses tissus mous, composés aux trois-quarts d'eau, ne se conservent pas. Seul le crâne sert de témoin : il indique la forme d'ensemble du cerveau et porte les traces que ce dernier a imprimé sur sa surface interne, telles que les limites entre les lobes et les petits sillons traduisant l'extension des zones cérébrales. Les archéologues travaillent donc sur l'endocrâne, soit le moulage interne du crâne qui reflète ces empreintes. Ils obtiennent ainsi des informations sur les différentes zones du cerveau, ses circonvolutions, son asymétrie, son irrigation, etc. Le paléanthropologue Antoine Balzeau, chercheur au CNRS et au Muséum national d'histoire naturelle, est responsable du projet PaleoBRAIN qui a pour ambition



de ressusciter le cerveau d'*Homo erectus* et des Néandertaliens, ce qui améliorera également la compréhension de l'émergence du cerveau humain. Il explique* que « l'évolution du cerveau ne s'est pas faite de façon linéaire mais par paliers, le premier étant indubitablement l'avènement de

la station debout. » Des accélérations ont eu lieu, mais aussi des diminutions avec plusieurs espèces extraordinaires.

Le plus ancien humain connu, Toumaï (environ 7 millions d'années), avait un endocrâne d'environ 370 cm³. Ce qui est plus petit

La fabrication des outils, de plus en plus élaborés avec le temps, se transmet par apprentissage.



que le cerveau des chimpanzés actuels. Le cerveau des Australopithèques (entre 4,2 et 2 millions d'années) mesurait 400 à 550 cm³. À l'apparition du genre *Homo*, vers 2,8 millions d'années, le volume cérébral atteignait 650 cm³. Tous ces chiffres sont cependant des moyennes et il s'avère que certains



Australopithèques pouvaient avoir un cerveau plus gros que certains *Homo*. Donc peu de différences s'observaient alors.

Par contre, avec l'arrivée il y a 1,9 millions d'années d'*Homo erectus*, le premier représentant de la lignée humaine à avoir quitté l'Afrique, le volume du cerveau a atteint 1000 cm³ (en fait, entre 600 et 1300 cm³). Mais il y avait des exceptions comme *Homo floresiensis*, en Indonésie il y a entre 800 000 et 50 000 ans, dont l'endocrâne avoisinait 430 cm³, ou encore *Homo naledi*, en Afrique du sud il y a 300 000 ans, avec ses 500 à 600 cm³ de volume cérébral. Sur Terre, différents types d'humains se côtoyaient donc avec des cerveaux plus ou moins volumineux. On a longtemps pensé que le palier des 700 cm³ de capacité crânienne expliquait le succès évolutif des espèces du genre *Homo*. Cela coïncide avec la maîtrise du feu, la fabrication d'outils, etc. Mais au vu des exceptions citées ci-dessus, ce raisonnement est

caduc : l'Homme de Florès avait un petit cerveau (mais également une petite taille), et pourtant il fabriquait des outils...

Ce sont les Néandertaliens qui ont eu le plus gros cerveau : 1600 cm³ en moyenne. Tandis que les *Homo sapiens* avaient un endocrâne de 1500 cm³. À noter que, depuis, la taille de notre cerveau a diminué pour atteindre aujourd'hui 1350 cm³. Ce qui ne change rien, comme nous le verrons, à l'accroissement de nos capacités intellectuelles !

Certaines formes d'Hominines récentes ont de petits cerveaux, tel l'Homme de Florès, en Indonésie. Sa petite taille, et celle de son cerveau, pourraient être dues à la faible disponibilité en énergie dans son environnement.

*L'évolution du cerveau humain : clichés et réalité (The Conversation, février 2022) - www.mnhn.fr/fr/1-evolution-du-cerveau-humain-cliches-et-realite

« *Nous sommes devenus humains par les pieds* »

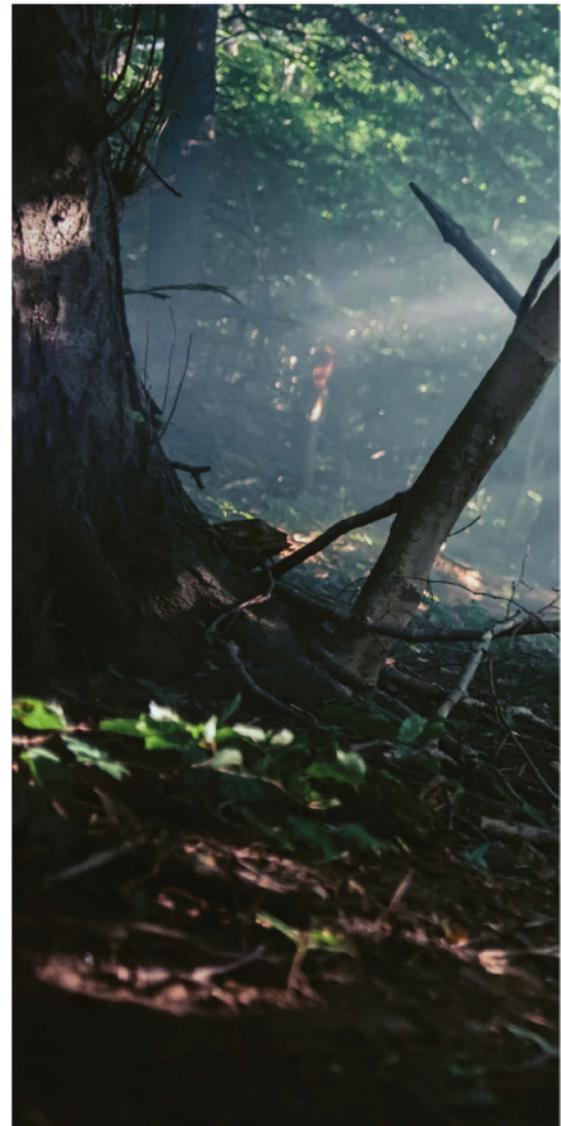
Avant l'apparition du genre *Homo*, voire avant la sortie d'Afrique, les Hominines de notre lignée n'étaient pas tout à fait des hommes. Ils conservaient des caractères archaïques : certains avaient des canines encore proéminentes, une bipédie partielle, etc. L'évolution de leur morphologie s'est effectuée de pair avec l'évolution de leur cerveau.

Mais comment définir un homme ? La station bipède est un caractère fondamental, mais aussi une peau dépourvue de fourrure, une capacité à transpirer, une face petite placée sous une boîte crânienne contenant un gros cerveau, des dents régulières sans canines proéminentes, la perte du pouce opposable du pied, une alimentation plus carnivore que les autres grands singes... L'augmentation accélérée de la taille du cerveau est cependant intervenue assez tard dans l'évolution des Hominines, il y a 2 millions d'années. Au départ, ce sont vraiment la bipédie et les caractères dentaires qui ont fait de nous des humains. Comme le disait Yves Coppens, « *nous sommes devenus humains par les pieds* ». Et la tête a suivi beaucoup plus tard...

Le paléoanthropologue Jean-Jacques Hublin, Professeur au Collège de France, et le

neurobiologiste Jean-Pierre Changeux, Président du Comité consultatif national d'éthique, notent** que les progrès récents en neurobiologie, paléontologie et paléogénétique permettent d'associer les changements de taille et d'organisation du cerveau à trois « moments » principaux de complexité comportementale accrue et, de manière plus spéculative, au développement du langage. On observe tout d'abord une augmentation significative de la taille du cerveau par rapport aux grands singes chez les Australopithèques, ainsi qu'une extension naissante du développement cérébral post-natal. Mais l'organisation corticale reste essentiellement similaire à celle des singes.

Dans un second temps, au cours des 2 derniers millions d'années, à deux exceptions près pré-citées, la taille du cerveau a augmenté de façon spectaculaire, et ce en partie en relation avec les changements



de taille du corps. Outre l'évolution de la taille, certaines zones se sont plus développées que d'autres et des réorganisations des zones corticales ont eu lieu. Elles jettent les bases du cerveau « prêt pour le langage » et de la culture cumulative des espèces d'*Homo* ultérieures.

Enfin, chez *Homo sapiens*, la taille du cerveau est restée relativement stable au cours des 300 000 dernières années ; toutefois une

importante réorganisation cérébrale s'est effectuée, concernant les lobes frontaux et temporaux, les zones pariétales et le cervelet. Il en a résulté une forme plus globulaire du cerveau. De plus, on a assisté à un développement accru des connexions horizontales à longue distance et quelques événements génétiques régulateurs, notamment une prolifération neuronale accrue et une connectivité cérébrale globale.

***Paléanthropologie de la Cognition : un aperçu de l'évolution du cerveau des Hominines (Institut de France - Comptes Rendus. Biologies, Volume 345 (2022) no. 2). <https://comptes-rendus.academie-sciences.fr/biologies/articles/10.5802/crbio.92/>*

La bipédie a largement contribué au développement du cerveau.



Bipédie, maîtrise du feu, développement cérébral postnatal...

Revenons sur ces différentes étapes. Qu'est-ce qui a causé l'encéphalisation (l'augmentation de la taille du cerveau) et ensuite la réorganisation cérébrale ?

Il faut savoir que le cerveau est un organe extrêmement gourmand en énergie : s'il ne représente que 2% de notre masse corporelle, il consomme 20% de notre énergie ! Comme l'explique Jean-Jacques Hublin***, les humains ont inventé nombre d'adaptations pour obtenir ces sources d'énergie (consommer de la nourriture la plus riche possible en calories, limiter les risques liés à la famine) et également pour rogner sur les dépenses énergétiques en économisant la dépense musculaire (notamment la locomotion) et en modifiant les processus liés à la reproduction et la croissance.

Pour ce qui est de la nourriture, on sait qu'il y a un lien entre la taille du cerveau et la qualité énergétique de celle-ci. Les humains sont devenus plus carnivores que les autres grands singes. De nombreux sites archéologiques datés de 2 millions d'années montrent des traces de découpes animales avec les outils associés. Il semblerait toutefois que les Hominines



auraient exploité plus les graisses que la viande. A poids égal, les humains doivent en effet extraire plus d'énergie de leur environnement par rapport aux grands singes, et



Au fil du temps, le cerveau humain s'est développé et réorganisé.

la gérer le mieux possible de façon à garder le maximum pour le cerveau. De là l'importance de la graisse chez les humains, car elle sert de réserve d'énergie.

Le fait de consommer moins de végétaux, et par la suite de cuire les aliments grâce à la maîtrise du feu, a permis également à l'intestin de raccourcir. Ces comportements ont représenté un énorme avantage au point de vue énergétique : la nourriture devenant plus facile à assimiler, l'énergie immense destinée à la mastication et à la digestion était économisée (et utilisée par le cerveau), et un sevrage plus précoce des enfants devint possible.

Au niveau de la locomotion bipède, poursuit J-J. Hublin, il s'avère qu'un chimpanzé se déplaçant à 4 pattes consomme beaucoup plus d'énergie qu'un homme lorsqu'il marche ou qu'il court. La position bipède fut donc pour les *Homo* un autre moyen d'économiser cette précieuse énergie, et ce d'autant plus que leur taille augmentait. On le sait, la bipédie et la forte consommation d'énergie du cerveau présentaient cependant des inconvénients. La reproduction posait problème si la tête des bébés était trop grosse pour passer dans un bassin rétréci. L'évolution a permis de s'adapter à cela en favorisant les bébés au cerveau plus petit. Dès lors, ce cerveau se développait sur le long terme après la naissance, tout comme

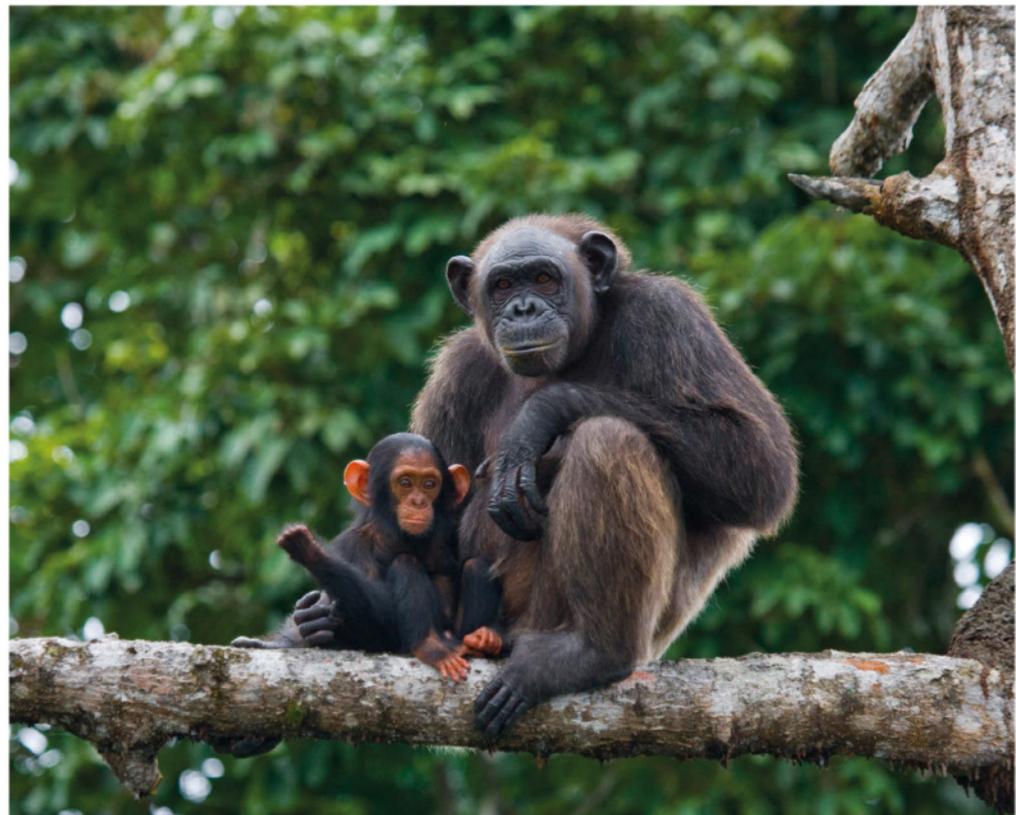
le corps entier, et les aptitudes qui apparaissent normalement plus tôt dans la nature, comme par exemple les capacités reproductives, se sont trouvées reportées plus tard, à l'adolescence, ce qui a permis d'étaler les besoins énergétiques.

D'un inconvénient est né un atout considérable : le cerveau du petit humain se développe majoritairement non pas avant la naissance mais après, alors qu'il a des interactions avec le milieu extérieur, et cela accroît ses capacités cognitives. Le cerveau humain a la particularité d'avoir une plasticité, et une myélinisation également, qui se poursuivent beaucoup plus longtemps que chez les chimpanzés. A 4 ans, un bébé chimpanzé

LE RÉGIME CARNÉ NE FAIT PAS TOUT...

L'hypothèse du changement du régime alimentaire, provoquant une réduction de la taille de l'intestin, a été remise en question en 2011 par des chercheurs de l'Université de Zurich. Ils privilégiaient comme facteurs d'encéphalisation une combinaison de stabilisation des apports énergétiques et une redirection de l'énergie de la locomotion, de la croissance et de la reproduction. Une multitude de facteurs est en fait entrée en jeu.

La femelle chimpanzé élève seule son petit jusqu'à 4 ans. Le cerveau de celui-ci est alors adulte.



POURQUOI NOTRE CERVEAU A-T'IL TANT GROSSI ?

Une étude récente montre qu'un gène spécifiquement humain, ARHGAP11B, en serait en partie responsable. Ce gène est impliqué en effet dans l'expansion du néocortex, la zone cérébrale la plus jeune d'un point de vue évolutif où se situent nos capacités mentales.

Des chercheurs du *German Primate Center*, un institut de recherche allemand sur les primates, en collaboration avec d'autres organismes de recherche allemands, ont introduit ce gène dans des organoïdes de chimpanzés. Les organoïdes sont des organes synthétiques obtenus en laboratoire et qui reproduisent de manière simplifiée la structure du cerveau afin d'éviter les expériences sur le vivant. Les scientifiques ont pu observer suite à cela une augmentation du nombre de cellules souches cérébrales et de neurones jouant un rôle crucial dans les capacités mentales des humains. Par contre, si le gène en question est ôté dans des organoïdes humains, le nombre de cellules souches cérébrales retombe au même niveau que chez les chimpanzés. Cette étude prouve le rôle important de ce gène au cours de l'évolution humaine.

Le bébé humain naît avec un cerveau à 20% de ses capacités, et il apprend ensuite pendant de longues années dans un environnement riche.



possède une taille de cerveau adulte et est autonome. C'est à cet âge que s'effectue le sevrage : la femelle, s'occupant seule de son petit, n'en a pas d'autres

pendant ces 4 ans. Les enfants humains sont sevrés plus tôt, mais ils ne sont pas autonomes. Cependant, des personnes autres que les parents peuvent survenir à leurs besoins alimentaires et leur fournir ainsi l'énergie nécessaire. Cette socialisation permet un intervalle bien plus rapproché entre les naissances, et donc une fertilité bien plus importante chez les humains que chez les chimpanzés, même si elle est plus tardive. « *Sur Terre, il y a de ce fait beaucoup plus d'hommes que de chimpanzés...* », remarque J-J. Hublin.



Au sein d'une fratrie qui peut être nombreuse, les enfants doivent apprendre à attirer l'attention des parents, à interagir avec eux pour être nourris et accompagnés. Ce seraient les racines de la sociabilité humaine. Les enfants développent des capacités de l'esprit,



comprenant, au-delà des paroles prononcées, les expressions du regard ou du visage et pouvant discerner des intentions, ce qu'un chimpanzé ne pourrait pas faire. Comme le remarque J-J. Hublin, on a trouvé un squelette entier d'*Homo erectus* dont le développement corporel équivalait à un adolescent de 14 ans, mais en vérifiant les dents il s'est avéré qu'il n'avait que 8 ans : la croissance était donc plus rapide au départ et l'âge de la reproduction plus précoce que chez les humains actuels. La date

du sevrage était autour de 3 ans et demi / 4 ans et demi, plutôt sur le modèle grand singe, alors que chez les Néandertaliens, l'âge de sevrage se rapprochait de celui du *Sapiens* d'aujourd'hui.

Par conséquent, nous sommes devenus vraiment humains assez récemment.

***Conférence Institut de France : « Devenir humain : la tyrannie du cerveau » - février 2024 - <https://www.institutdefrance.fr/les-conferences/construire-lhumain>



Utiliser l'outil : une compétence qui a permis le développement du cerveau, ou est-ce l'inverse ?

L'Homme de Jebel Irhoud, le plus

Les plus anciens crânes d'*Homo sapiens* sont datés d'environ 300 000 ans. Ils ont été découverts au Maroc, sur le site de Jebel Irhoud, en 2017.

Leur étude a permis de constater qu'au cours des derniers 300 000 ans, la taille du cerveau a peu changé, mais sa forme oui. De la forme aplatie et allongée des *Homo erectus* et des Néandertaliens, on est passé à une forme plus globulaire.

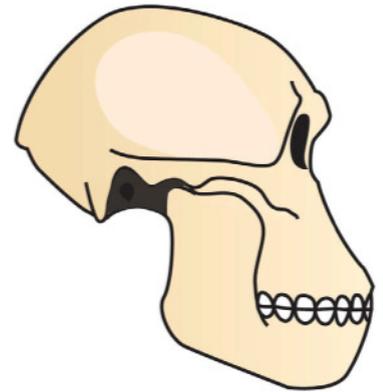
Jean-Jacques Hublin, alors directeur du département « *Évolution de l'homme* » à l'Institut Max Planck à Leipzig (Allemagne), et Abdelouahed ben-Ncer, professeur à l'Institut national des sciences de l'archéologie et du patrimoine (INSAP) à Rabat (Maroc), sont à l'origine de cette découverte. Avec ses collègues Simon Neubauer et Philipp Gunz, J.-J. Hublin a comparé les endocrânes à ceux de membres de notre espèce datés d'autres époques, et ils ont pu ainsi reconstituer en 3D les différentes phases de l'histoire de notre cerveau. Résultat : l'organisation de notre cerveau a évolué graduellement, et ses caractéristiques modernes n'ont été acquises que tardivement.

Rappelons que cette étude a repoussé de plus de 100 000 ans

l'ancienneté attribuée auparavant à l'espèce *Homo sapiens*. Pour les scientifiques, ces fossiles montrent qu'il existe un stade « *Homo sapiens archaïque* », moderne au niveau de la face et des dents, mais archaïque au niveau de l'encéphale.

Les chercheurs ont révélé quand et comment la forme typique du cerveau de l'homme moderne a évolué. La forme endocrânienne était auparavant allongée, et uniquement les fossiles datés de moins de 35 000 ans présentent la même forme globulaire que celle des humains actuels, avec gonflement du cervelet et des zones cérébrales pariétales (cf encadré). L'organisation cérébrale d'aujourd'hui serait donc relativement récente, issue d'un processus d'évolution qui aurait eu lieu entre -100 000 et

AUSTRALOPITHECUS



GLOBALITÉ DU CERVEAU ET MODERNITÉ COMPORTEMENTALE

Le cerveau humain actuel est de grande taille et de forme globulaire, suite au gonflement du cervelet et des zones cérébrales pariétales. Les zones pariétales sont impliquées dans de nombreux domaines : l'utilisation d'outils, la conscience de soi, l'orientation, l'attention, la perception des stimuli, l'intégration visio-spatiale, la mémoire de travail et la mémoire à long terme... Tandis que le cervelet conditionne des fonctions motrices (la coordination des mouvements et de l'équilibre), mais aussi le langage, le traitement spatial, la mémoire de travail, la cognition sociale, le processus affectif.

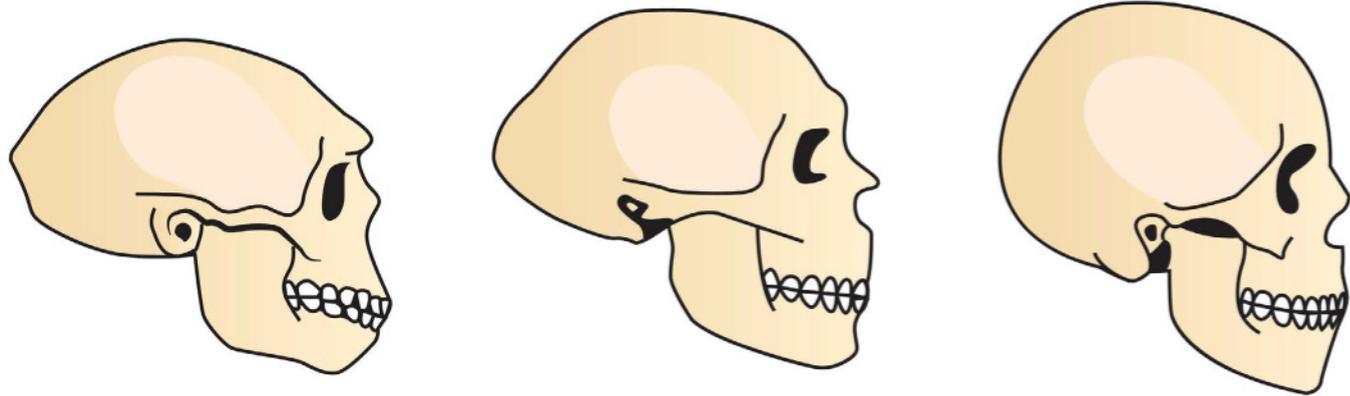
A noter qu'il n'existe pas de consensus sur le rythme et le mode des changements biologiques et comportementaux chez *Sapiens*.

ancien *Sapiens*

HOMO ERECTUS

HOMO
NEANDERTHALENSIS

HOMO SAPIENS



-35 000 ans. Par contre, ces changements de forme n'ont pas de corrélation avec des changements de taille, les plus anciens fossiles de Jebel Irhoud ayant approximativement la même taille de cerveau que l'humain d'aujourd'hui. « *Nous savions déjà que la forme du cerveau avait évolué au sein de l'espèce humaine* », a souligné Simon Neubauer, « *mais nous avons été surpris de découvrir à quel point ces changements dans l'organisation du cerveau étaient récents.* »

L'équipe de recherche a souligné également que la forme globulaire caractéristique du cerveau chez les humains actuels se développe rapidement, en quelques mois, avant et après la naissance. Pour

les scientifiques, cette évolution de forme suggère des changements évolutifs du développement précoce du cerveau, et cette période est critique pour le câblage neuronal et le développement cognitif. Ces changements évolutifs seraient donc la clé d'évolution de la cognition humaine et auraient vraisemblablement permis l'émergence progressive de la modernité comportementale observée aux mêmes étapes.

Ces résultats confirmaient les études génétiques montrant des changements dans les gènes liés au développement du cerveau dans notre espèce depuis la séparation entre *Sapiens* et Néandertal.

▲
Le crâne de *Sapiens* a été de moins en moins allongé et son cerveau a acquis une forme globulaire.

300 000 ans d'évolution du cerveau de *Sapiens*

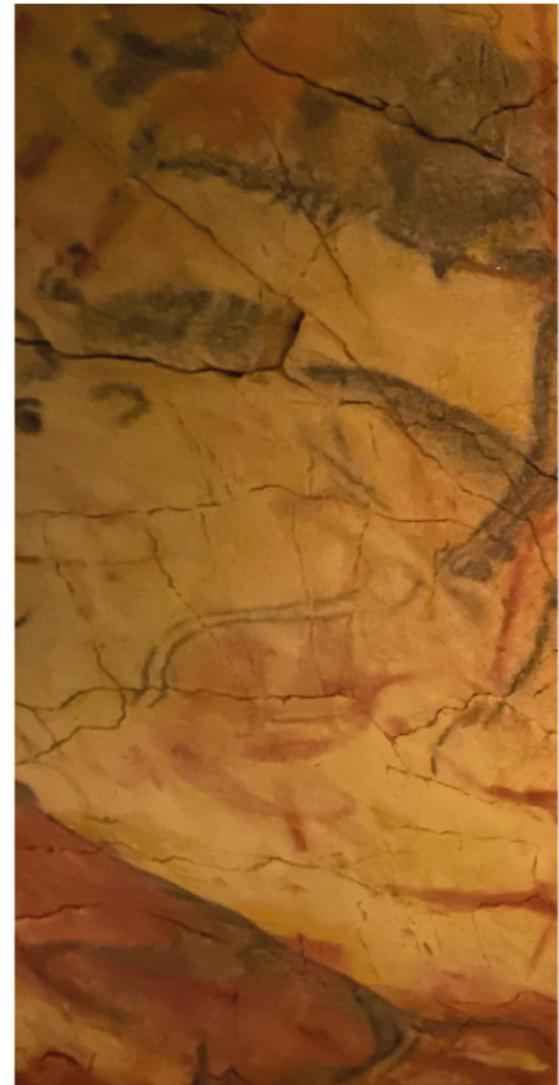
Si la taille du cerveau de *Sapiens* est donc demeurée quasiment la même depuis ses origines, son organisation a beaucoup évolué, conférant des capacités exceptionnelles à cette nouvelle espèce.

Avant la transition vers l'âge de pierre tardif et le Paléolithique supérieur, qui marquent la pleine modernité comportementale, des avancées conséquentes dans les aptitudes et les comportements avaient eu lieu : la taille de la pierre, la fabrication de bijoux, l'utilisation de pigments, des technologies complexes mêlant pierre, ossements, etc., la manipulation de symboles, l'art.

Comme le soulignent les chercheurs français de Jebel Irhoud, de l'ADN ancien a révélé des dérives génétiques qui étaient fixées chez *Homo Sapiens* après sa séparation d'avec Néandertal, il y a 500 000 ans. Ce matériel génétique suggérait une sélection positive, dans notre lignée, de gènes essentiels pour les fonctions cérébrales, et particulièrement pour le développement du système nerveux. Par exemple, le gène FOXP2, important pour le développement normal de la parole et du langage. Alain Prochiantz, chercheur en neurobiologie et professeur au Collège de France, explique****

les nombreuses évolutions qui ont donné naissance au cerveau humain. Il s'est produit par exemple une mutation dans un gène impliqué dans les régions motrices du langage, dans les régions augmentant l'expression des gènes (un gène ralentit le développement des synapses et donc le prolonge), une mutation qui augmente la taille du cortex... Mais aussi des duplications du génome qui introduisent de nouvelles séquences, permettant d'acquérir de nouvelles fonctions ; des délétions (certaines régions ont disparu par rapport aux cerveaux d'autres grands singes, ce qui laisse la place à d'autres neurones) ; des gènes sauteurs (qui vont s'insérer ailleurs, entraînant des mutations dans le génome) ; des modifications épigénétiques (qui ralentissent généralement l'expression des gènes du fait de méthylations dans les régions régulatrices de l'expression des gènes)... De telles mutations peuvent modifier carrément la morphologie, et une seule mutation peut générer de profonds changements.

L'art pariétal a distingué l'homme du règne animal (ici, la grotte d'Altamira, en Espagne).



Donc l'augmentation de la taille du cerveau a permis de laisser la place pour introduire d'autres circuits. Des régions se sont accélérées également dans le cerveau humain, permettant de créer plus de neurones. Mais l'agrandissement du cerveau ne fut pas homothétique. Certaines fonctions de base comme l'olfaction n'ont pas été augmentées pour autant. Simplement plus de place a été octroyée aux compartiments situés à l'avant (le cortex frontal) et qui concernent le plan cognitif.

De nombreuses mutations sont arrivées au niveau des régions qui régulent l'expression de gènes, et ce après la séparation d'avec les Néandertaliens. Ainsi, on estime avoir environ 98% de génome en commun avec les chimpanzés. Avoir un gène est une chose, mais l'important, souligne A.Prochiantz, est de savoir « *le moment auquel il s'exprime, le niveau auquel il s'exprime, la durée pendant laquelle il s'exprime.* » Et cela change tout...

****Conférence Institut de France :
« Un singe au cerveau trop gros » - mars 2024 - <https://www.institutdefrance.fr/les-conferences/construire-lhumain>



Les synapses du cerveau humain se développent sur le long terme, dans des conditions exceptionnelles d'interaction sociale.



LE SIÈGE DE L'INTELLIGENCE

Au cours de l'évolution de l'espèce humaine, le cortex cérébral s'est développé plus rapidement que les autres parties du cerveau. Cette région est associée à l'attention, la pensée, la planification, la perception et la mémoire épisodique, toutes nécessaires aux fonctions cognitives supérieures.

Une plasticité cérébrale unique dans le vivant

Ainsi que nous l'avons mentionné précédemment, les périodes d'apprentissage s'effectuent sur le long terme chez *Sapiens*. Et ce dans des conditions remarquables de communication et d'interaction sociale. D'où un développement exceptionnel des synapses.

Un jeune *Homo erectus* d'un an avait de 72% à 84% de son cerveau, à peu près comme les grands singes : les chimpanzés et les macaques, par exemple, ont pratiquement toutes leurs synapses à la naissance. Alors qu'un bébé *Sapiens* n'a qu'entre 10 et 20% de son cerveau à sa naissance et 50% à un an. Ce cerveau se construit sur une longue période dans un milieu très riche, avec des interactions sociales, en somme un environnement bien plus varié que dans l'utérus de sa mère.

« Chez *Sapiens*, tous les processus de développement du cerveau ont été ralentis : chaque neurone humain prend beaucoup de temps pour se développer : plusieurs mois voire plusieurs années », souligne A. Prochiantz. Les périodes où l'humain acquiert ses synapses sont des périodes (appelées critiques) de plasticité cérébrale au cours duquel il peut donc apprendre (notamment de la

naissance à l'âge de 7 ans). Pour certaines régions du cerveau, cela ne se termine que vers 20-25 ans. Ainsi nous restons capables d'apprendre beaucoup plus longtemps que tous les autres animaux, même les plus proches de nous.

Le développement, la réorganisation de notre cerveau ont apporté bien des bénéfices : comportements complexes, capacités d'adaptation technique et comportementale (notamment face à des défis liés à l'environnement). Cela a fait le succès de notre espèce par rapport à d'autres espèces d'Hominines : les performances et la connectivité de notre cerveau ont été augmentées sans trop augmenter sa taille, et donc sans demander un approvisionnement énergétique disproportionné. Et



Les liens sociaux, la collaboration entre de grands groupes, furent des facteurs de succès de notre espèce.



ce grâce à des remaniements de structure, des mutations, qui ne se sont produites que chez *Sapiens*. « C'est peut-être pour cela que nous avons pu conquérir le monde, remplacer les autres espèces, grâce à notre complexité cognitive et aux technologies développées ainsi qu'aux liens

sociaux complexes au sein des petits groupes humains mais également très au-delà, dans des réseaux de solidarité entre des groupes qui ne se connaissent pas mais qui savent qu'ils appartiennent à la même espèce », conclut J-J. Hublin.

L'évolution du cerveau a déterminé nos comportements biologiques et culturels, permettant à *Sapiens* de « socialiser son environnement et se construire des visions du monde historiquement évolutives et géographiquement diversifiées. »

J-J.Hublin.



L'éveil de la conscience

On peut s'interroger sur l'émergence de la conscience chez l'homme, bien que le sujet soit délicat. La conscience se définit par la connaissance que chacun a de son existence et de celle du monde extérieur. Cette connaissance peut être intuitive ou réflexive. Mais les comportements animaux ne sont pas tous inconscients, certains sont intentionnels : les animaux seraient-ils alors conscients de leurs propres actes ? Ceux-ci résultent de sensations, d'émotions, d'une mémoire plus ou moins développée.

En plus des sensations, des émotions, des différents types de mémoire, notre conscience implique une pensée, une imagination, une aptitude à planifier, une conscience de soi. Cette dernière peut englober la conscience de son propre corps, ou la perception de son action ou la perception des autres. Le test de la reconnaissance dans un miroir est une mesure de la conscience de soi. On sait que l'homme n'est pas le seul à le réussir, mais que certaines espèces qualifiées « d'intelligentes » y parviennent également.

On parle de conscience perceptive pour l'aptitude à penser consciemment à quelque chose de présent ou d'absent, et de conscience réflexive (ou retour sur soi) sur la capacité à confronter l'expérience vécue à l'analyse de cette expérience. Cette dernière serait plus spécifique à l'homme.

Par rapport aux autres animaux, *Sapiens* se différencie par son langage articulé élaboré qui lui a été enseigné par apprentissage. Il a des relations sociales très complexes et bénéficie d'un apport culturel conséquent. Son système cognitif lui permet d'avoir accès à l'abstraction, l'introspection, la pensée sur le long terme. Le succès évolutif de notre espèce serait largement dû à ces capacités de notre esprit : l'abstraction mais également la mémoire, l'imagination.

Pour les paléanthropologues, notre conscience se serait éveillée progressivement. On peut l'observer par la complexification des modes de vie et des comportements. Par exemple, si l'on compare les premiers outils en pierre taillée fabriquée par les Australopithèques et qui deviennent de plus en plus fins et symétriques pour arriver au biface taillé par les *Homo erectus*, avec

vraisemblablement une recherche d'esthétique. Cette recherche est évidente dans les peintures pariétales et les sculptures réalisées par *Sapiens*.

Antoine Balzeau, paléanthropologue au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, ajoute**** que le soin apporté aux morts est un autre témoignage de cet éveil progressif de la conscience. Les plus anciennes sépultures, retrouvées au Proche-Orient, ont au moins 100 000 ans. Les Néandertaliens et *Homo Sapiens* enterraient leurs morts. Plus tard, au Paléolithique supérieur, *Sapiens* aménageait des sépultures et pratiquait une série de gestes funéraires comme le dépôt de parure, de mobilier, d'ocre sur et autour des dépouilles.

Si le langage n'est pas indispensable à l'émergence de la conscience, il la favorise en



permettant une transmission des connaissances et un apprentissage plus rapide, une formulation des idées et des symboles, des interactions sociales développées encourageant une coopération. Les linguistes classent les différents stades du langage ainsi : une fonction expressive (l'animal exprime une émotion ou un sentiment), une fonction de signal (l'animal prévient ses congénères en espérant une réaction de leur part), une fonction de description (laquelle

suppose une capacité d'analyse et d'interprétation), une fonction de discussion argumentée (qui implique le développement de règles langagières et sociales pour pouvoir échanger). Les deux dernières fonctions ne s'observent vraisemblablement que chez l'homme. Pour ce qui est du lien avec la conscience, les scientifiques estiment que la notion de symbolisation n'a pu se développer qu'à partir du troisième stade.



Enterrer ses morts et déposer des objets dans la tombe sont des comportements symboliques, preuve d'une certaine conscience.

L'intelligence dépend-elle de la taille du cerveau ?

En résumé, comme le remarque A. Balzeau, on ne peut par conséquent pas affirmer que l'évolution de l'espèce humaine s'est effectuée grâce à une augmentation continue de la taille de notre cerveau. D'autres éléments sont entrés en jeu. On peut simplement observer que cette augmentation s'est faite en même temps que l'acquisition de nouvelles compétences comme la fabrication d'outils de plus en plus élaborés, la naissance du langage articulé, l'apparition d'une culture, de comportements symboliques, ou encore la création d'œuvres d'art.

Plus que le volume du cerveau, c'est surtout son organisation qui conditionne son fonctionnement, et donc l'intelligence. Par exemple, le fait que les humains possèdent depuis des millions d'années un cerveau asymétrique leur confère des aptitudes particulières, notamment en matière de langage et de latéralité. Les humains fossiles n'avaient pas tous la même forme ni la même structure de cerveau, mais cela ne les empêchait pas d'avoir des capacités cognitives avancées.

Le cerveau des humains actuels se caractérise notamment par une forme allongée en hauteur et des lobes pariétaux étendus. Mais si la moyenne de volume est de 1350 cm³, il peut varier entre 1000 et 2000 cm³. Les femmes ont un cerveau plus petit que



celui des hommes, les Européens ont un cerveau plus petit que les Asiatiques... mais cela ne change rien à leurs résultats aux tests de Q.I. « *Au final, la seule vraie relation observée lie taille du cerveau*

et climat », observe le chercheur. On a bien compris que mesurer la taille des cerveaux, ce n'est pas mesurer l'intelligence. Rappelons que le cerveau d'Albert Einstein ne pesait que... 1230 grammes !



NOTRE CERVEAU RÉTRÉCIT...

Si le volume du cerveau humain a augmenté depuis nos origines, il a diminué depuis Cro-Magnon : d'environ 1500 cm³ il y a 30 000 ans, il n'est que de 1350 cm³ aujourd'hui. Sa forme a un peu changé et elle est encore moins allongée vers l'arrière. Le cervelet a grossi. La forme des lobes pariétaux est quasiment la même, mais celle des lobes frontaux et occipitaux s'est tassée.

Quid de ces changements ? La taille de notre cerveau avait augmenté parallèlement à celle de notre corps, et il s'avère que Cro-Magnon et ses contemporains étaient plus grands et plus robustes que les humains d'aujourd'hui. C'est la seule explication évoquée. Et, comme nous l'avons vu, cela n'affecte en rien notre intelligence.

▲
L'humain a des pensées abstraites, une capacité d'anticipation et d'invention.

A diverse group of people of various ages and ethnicities smiling together outdoors. In the foreground, an older woman with voluminous grey hair and a red jacket with a yellow and blue patterned scarf is smiling broadly. To her left is an older man with a full white beard and a plaid shirt. Behind them, a man with a beard and a young boy are smiling. On the right, a young girl with curly hair is also smiling. The background is bright and out of focus, suggesting an outdoor setting.

**Gènes, biologie,
environnement...
d'où nous vient
notre personnalité ?**



Qu'est-ce que la personnalité ? Elle réside dans la spécificité de notre façon de penser, nos émotions, nos comportements. Elle constitue notre individualité psychique, intellectuelle et morale.

Parmi les éléments de la personnalité, on retient le caractère, l'ouverture d'esprit, l'extraversion, la conscience professionnelle, la stabilité émotionnelle... De notre personnalité dépendront la qualité de nos relations sociales, le choix d'un partenaire, la réussite professionnelle selon les attentes de chaque métier.

Mais d'où nous vient cette personnalité ? Est-elle acquise dès la naissance, par hérédité, ou évolue-t-elle en fonction de notre environnement ? En fait, les déterminants de la personnalité sont génétiques, biologiques et environnementaux, les trois étant en continue interaction. C'est pourquoi il est difficile de déterminer la contribution de chacun. Parmi ces déterminants, le rôle du microbiote présent dans notre organisme se révèle peu à peu. Celui-ci pourrait bien influencer notre cerveau, et donc notre façon d'être, d'agir et de réagir...

Nous naissons avec un tempérament défini

Le pourcentage de la personnalité transmise par les gènes est évalué à environ 40%. Mais le consensus est loin d'être fait sur le sujet et ce pourcentage pourrait être bien plus élevé...

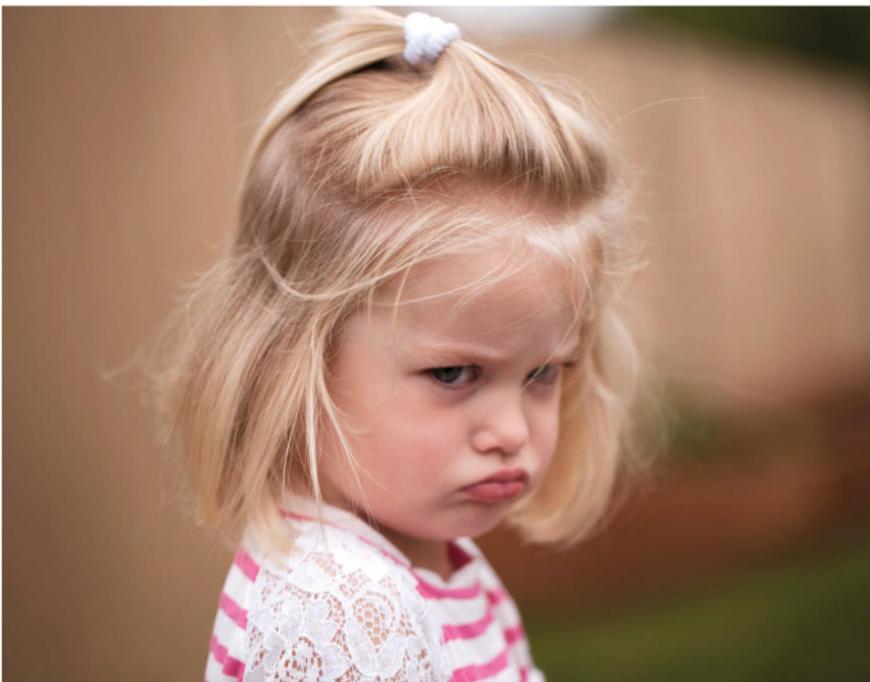
Diverses études ont été faites sur des jumeaux afin de déterminer la part de cette transmission par les gènes. Une étude allemande révélée en 2010, portant sur 696 paires de jumeaux monozygotes et 387 paires de jumeaux dizygotes élevés ensemble, a conclu à une importante interaction entre des facteurs génétiques et environnementaux dans la jeunesse et au milieu de l'âge adulte.

Ensuite l'environnement joue un rôle essentiel. Si nous naissons avec un tempérament défini, le

milieu familial et les événements vécus dès le plus jeune âge vont façonner notre personnalité. Le tempérament d'un enfant se remarque dans son niveau d'activité, sa façon de réagir devant la nouveauté, sa capacité à s'adapter aux changements, son humeur générale. Également dans son aptitude à maîtriser ses comportements et ses émotions dans un contexte précis (respecter les règles, rester attentif...). Ce tempérament va évoluer avec l'apprentissage, les relations, les expériences. Dès la

fin de la petite enfance cependant, les scientifiques estiment que la personnalité d'un individu est déjà solidement établie, et encore plus à la fin de l'adolescence. Ensuite, des événements marquants de la vie et les relations sociales vont encore pouvoir la modifier quelque peu.

Enfin, la personnalité a également une base biologique, la structure du cerveau étant liée à certains comportements psychologiques. On sait par exemple que les lobes frontaux sont associés à la planification, tandis que les lobes occipitaux sont liés au traitement des informations visuelles. D'autre part, des processus physiologiques comme la sécrétion d'hormones (notamment les hormones sexuelles comme les androgènes et les œstrogènes) influencent la personnalité. Ainsi la testostérone joue un rôle dans



Le tempérament à la naissance, acquis par les gènes, va évoluer par la suite.

l'agressivité, la sociabilité, etc. Il en est de même pour différents neurotransmetteurs comme la sérotonine, la dopamine ou la noradrénaline : par leur influence sur l'expression comportementale d'un individu, on peut en conclure qu'ils agissent sur sa personnalité. Ainsi la recherche de nouveautés

et l'extraversion dépendraient du système dopaminergique.

En réalité, les différentes études scientifiques récentes laissent supposer que les fondements biologiques de la personnalité font intervenir de nombreux gènes, structures et neurotransmetteurs du système nerveux central.

Education, culture... mais aussi bactéries

Depuis peu, les chercheurs ont découvert d'étranges interactions entre le microbiote et le cerveau. Cette influence du microbiote sur le cerveau et le comportement a pu être observé lors d'expérimentations animales ces 20 dernières années. Cependant de plus en plus d'études sur les humains apportent des conclusions intéressantes...

Ce fut d'abord l'axe intestin-cerveau qui fut révélé. Les quelque 1013 micro-organismes présents dans nos intestins - bactéries, virus, parasites, champignons non pathogènes - ont un rôle reconnu dans certaines pathologies, notamment les maladies auto-immunes et inflammatoires et bien entendu les maladies digestives. Mais ils ont également un rôle de plus en plus avéré dans des maladies neurodégénératives, des troubles du neurodéveloppement et des troubles psychiatriques.

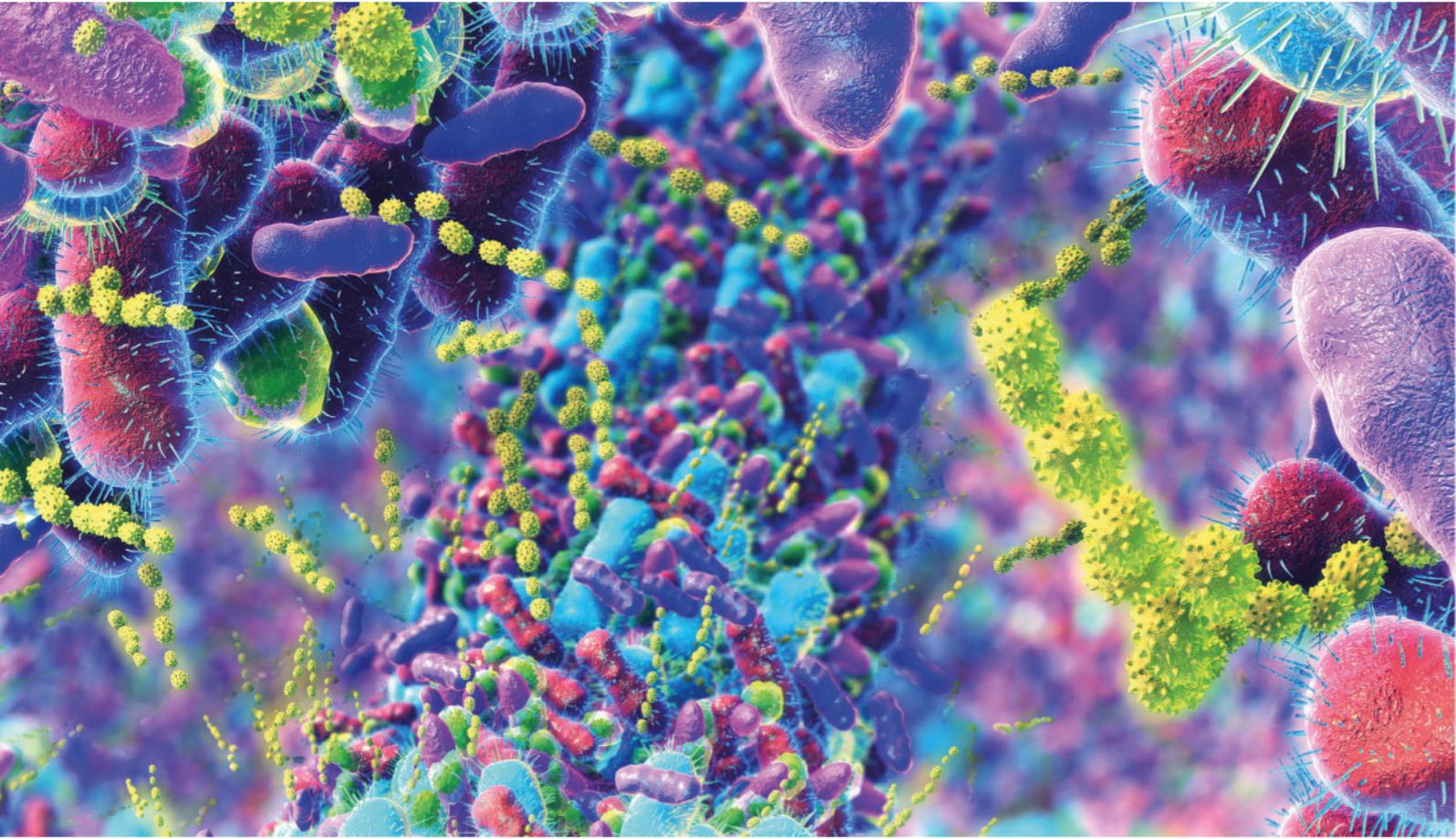
Ces découvertes sont récentes et pionnières. Il est en effet très

complexe d'établir les liens de causalité entre des signaux microbiens et des modifications de pensée et de comportement. On pensait il y a encore peu de temps que nos comportements nous étaient dictés uniquement par notre éducation et notre culture.

Quelle est l'influence du microbiote intestinal sur notre personnalité ? Modifie-t-il notre façon de penser, de réagir, d'être ? Quel rôle a-t-il dans les troubles mentaux ? Il apparaît en effet que le microbiote a un certain contrôle sur notre cerveau. Non seulement il lui permet de se maintenir en

A chacun son microbiote

Rappelons que le microbiote intestinal est propre à chacun : sur les 160 espèces de bactéries présentes chez un individu en bonne santé, la moitié seulement se retrouve chez un autre individu. Seules 15 à 20 espèces seraient présentes chez tous les êtres humains et responsables des fonctions essentielles du microbiote.



Le microbiote intestinal est composé d'environ 10^{13} micro-organismes.

bon état de marche en l'aidant à libérer des nutriments à partir de l'alimentation, mais il peut aussi influencer nos pensées, nos émotions, notre comportement. Des maladies comme la dépression, la schizophrénie, l'épilepsie, et toute une série de troubles mentaux auraient une base dans le microbiote.

Des travaux de recherche récents ont montré que la composition du microbiote aurait un impact important sur la cognition, le stress, l'anxiété, les symptômes dépressifs et le comportement. On sait par exemple que les souris auxquelles on a enlevé le microbiote sont plus sujettes à l'angoisse et

moins sociables. Elles sont plus enclines à des tempéraments à risque, et moins aptes à apprendre et à se remémorer. Les bactéries « lactiques » semblent améliorer l'humeur de souris déprimées. Ainsi la bactérie *Lactobacillus rhamnosus JB1* diminue l'anxiété chez les souris. Et si les signaux circulant le long du nerf vague sont bloqués, cet effet disparaît.

Quand les troubles de l'humeur viennent d'ailleurs

En 2020, des chercheurs de l'Institut Pasteur, de l'Inserm et du CNRS ont publié une étude (dans *Nature Communications*) montrant les résultats d'un déséquilibre des bactéries intestinales sur le fonctionnement du cerveau et la régulation des humeurs.

Ces scientifiques ont découvert, dans un modèle animal, comment une modification du microbiote intestinal, engendrée par un stress chronique, peut être à l'origine d'un état dépressif notamment en provoquant un effondrement de métabolites lipidiques (petites molécules issues du métabolisme) dans le sang et le cerveau. La baisse de ces métabolites lipidiques, appelés cannabinoïdes endogènes (ou encore endocannabinoïdes), se traduit par un profond défaut de fonctionnement du système de communication dérivé de ces mêmes métabolites.

Ces métabolites se lient sur des récepteurs, lesquels sont également la principale cible du THC, le composant actif le plus connu du cannabis. Les chercheurs ont découvert que, lorsque les endocannabinoïdes n'étaient plus présents dans une région clé du cerveau qui participe à la formation de nos souvenirs et des émotions, l'hippocampe, un état dépressif survenait.

Pour parvenir à ces résultats, l'équipe de recherche a étudié les microbiotes d'animaux sains et d'animaux présentant des troubles de l'humeur. Comme l'explique Pierre-Marie Lledo, responsable de l'unité Perception et mémoire à l'Institut Pasteur (CNRS/Institut Pasteur) : « *de façon surprenante, le simple transfert du microbiote d'un animal présentant des troubles d'humeur à un animal en bonne santé suffit à induire des modifications biochimiques et conférer des comportements synonymes d'un état dépressif chez ce dernier* ».

Les scientifiques ont identifié certaines espèces bactériennes qui sont fortement diminuées chez les animaux présentant des troubles d'humeur. A l'inverse, ils ont montré qu'avec un traitement oral avec ces mêmes bactéries, il était possible de restaurer un niveau normal de ces dérivés lipidiques et, par conséquent, traiter l'état dépressif. Ainsi, ces

La dysbiose (ou déséquilibre) intestinale pourrait occasionner des symptômes neurologiques. Elle est observée dans les maladies neurodégénératives comme Parkinson ou Alzheimer, et dans des troubles du neurodéveloppement comme les troubles du spectre autistique (qui s'améliorent avec un microbiote sain) ou des troubles psychiatriques. Le microbiote ne représente cependant qu'un des nombreux facteurs favorisant ces maladies.



La dépression pourrait être liée au microbiote intestinal.

bactéries pourraient agir en tant qu'antidépresseur : on parle alors de « psychobiotiques ».

« Cette découverte démontre comment le microbiote intestinal contribue au fonctionnement normal du cerveau », poursuit Gérard Eberl, responsable de l'unité Microenvironnement et immunité (Institut Pasteur/Inserm). En cas d'un déséquilibre de cette communauté bactérienne, certains lipides essentiels au bon fonctionnement du cerveau disparaissent. L'usage de certaines bactéries pourrait alors être un levier efficace pour rétablir un microbiote sain et lutter plus efficacement contre les troubles de l'humeur.

La plupart des études ont été faites cependant sur des animaux

et ne peuvent être extrapolées à l'humain, le cerveau humain étant beaucoup plus complexe que le cerveau animal. En 2019 cependant, des chercheurs de l'université d'Oxford ont montré que l'administration d'un probiotique favorisait une amélioration de l'humeur et une diminution de la déprime chez un petit groupe de participants. Les mêmes chercheurs ont pu observer que l'administration d'un prébiotique chez des personnes atteintes de psychose améliorait la fonction cognitive (en particulier l'attention et la résolution de problèmes).

On connaît également l'effet désastreux des antibiotiques sur le microbiote intestinal. Une étude britannique a montré que les personnes prenant des antibiotiques durant plusieurs mois avaient de moins bons résultats aux tests cognitifs (attention, apprentissage, mémoire).

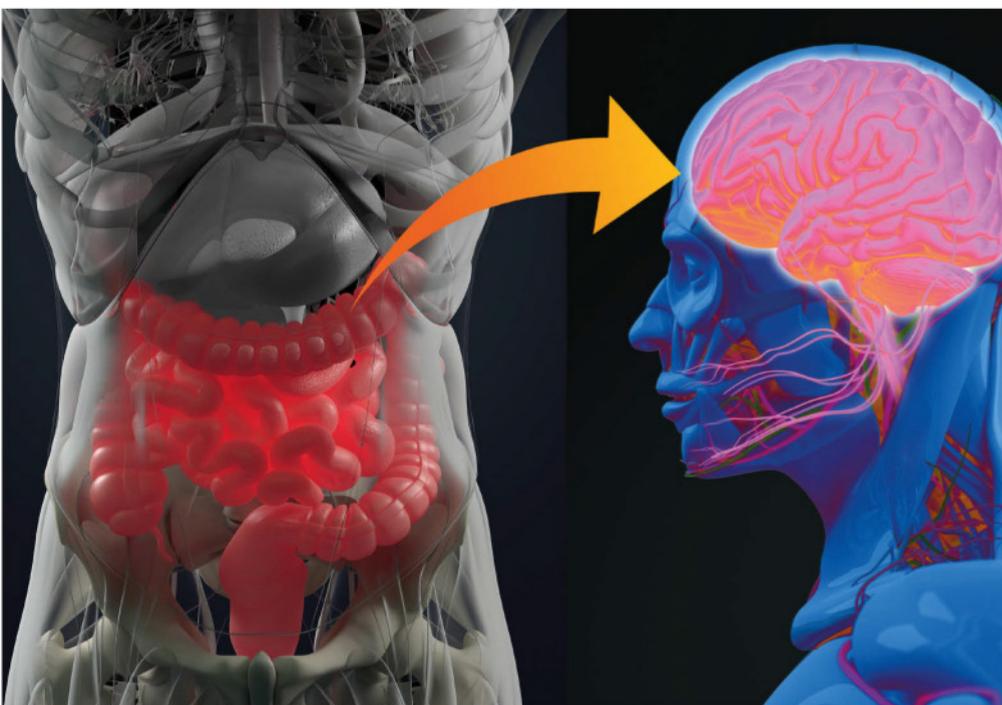
Un dialogue direct et fascinant entre intestin et cerveau

Les microbes intestinaux pourraient réguler le développement précoce des neurones. Cela influencerait les circuits cérébraux et les comportements. Ces microbes pourraient aussi réguler la production de substances biochimiques (comme la sérotonine) qui stimulent l'activité des neurones.

Des neurobiologistes de l'unité Perception et mémoire (Institut Pasteur/CNRS), des immunobiologistes de l'unité Microenvironnement et immunité (Institut Pasteur/Inserm), et des microbiologistes de l'unité Biologie et génétique de la paroi bactérienne (Institut Pasteur/CNRS/Inserm), ainsi que des scientifiques de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (CNRS/Inserm/

Sorbonne Université/AP-HP), ont mis en commun leurs expertises pour comprendre comment les bactéries de l'intestin pouvaient avoir un effet direct sur l'activité de certains neurones du cerveau. Leur étude, publiée en 2022 dans *Science*, a montré que des produits dérivés du microbiote intestinal se retrouvaient dans la circulation sanguine et modulaient les processus physiologiques de l'hôte, tels

Le système nerveux qui régit l'intestin (ou système nerveux entérique) contient 200 millions de neurones ! Et l'intestin est en interaction étroite et bidirectionnelle avec le système nerveux central. Pour cela, on le qualifie de deuxième cerveau.



L'axe intestin-cerveau a été découvert assez récemment.

Sérotonine, dopamine... et gestion des humeurs

Des chercheurs de l'Université Catholique de Louvain (Belgique), ont découvert en 2019 que la plupart des bactéries intestinales humaines produisent des neurotransmetteurs. Ces molécules (comme la dopamine et la sérotonine) permettent la communication entre les neurones. On sait que ces neurotransmetteurs influent sur notre humeur et notre comportement.

La sérotonine est impliquée dans la gestion des humeurs pour la recherche du bonheur et elle réduit la prise de risque pour assurer la survie. Au contraire, la dopamine développe la prise de risque et enclenche le système de récompense.

Des maladies neurologiques et des troubles de l'humeur auraient une cause demeurée longtemps insoupçonnée.



que l'immunité, le métabolisme et les fonctions cérébrales.

Les chercheurs se sont intéressés particulièrement au récepteur NOD2 (*Nucleotide Oligomerization Domain*) présent à l'intérieur des cellules, en particulier les cellules immunitaires. Ce récepteur détecte la présence de muuropeptides, des composés des parois bactériennes, lesquels peuvent être considérés comme les produits dérivés du microbiote intestinal. Par ailleurs, il était déjà connu que des variants du gène codant pour le récepteur NOD2 sont associés à certaines maladies du système digestif, comme la maladie de Crohn, mais aussi à certaines maladies neurologiques ou troubles de l'humeur.

Grâce à des techniques d'imagerie cérébrale, les scientifiques ont observé, chez la souris, que le récepteur NOD2 était exprimé par des neurones de différentes régions du cerveau, en particulier dans l'hypothalamus. Ils ont ensuite découvert que ces mêmes neurones voyaient leur activité électrique réprimée lorsqu'ils rencontraient des muuropeptides bactériens issus de l'intestin. Les muuropeptides sont libérés par les bactéries quand elles prolifèrent. À l'inverse, dans le cas où le récepteur NOD2 est défaillant, ces neurones ne sont plus réprimés par les muuropeptides et le cerveau perd alors le contrôle de la prise alimentaire et de la température

corporelle. Ce qui peut amener à développer un diabète de type 2.

Etonnamment, les chercheurs ont montré ici que ce sont les neurones qui perçoivent directement les muuropeptides bactériens, alors que cette tâche est d'ordinaire dévolue aux cellules du système immunitaire. « *Il est stupéfiant de découvrir que des fragments bactériens agissent directement sur un centre nerveux aussi stratégique que l'hypothalamus, connu pour gérer des fonctions vitales comme la température corporelle, la reproduction, la faim, ou la soif* », a commenté Pierre-Marie Lledo, chercheur CNRS et responsable de l'unité Perception et mémoire à l'Institut Pasteur. Donc les neurones semblent détecter l'activité bactérienne (la prolifération et la mort) pour mesurer directement l'impact de la prise alimentaire sur l'écosystème intestinal.

Étant donné l'impact des muuropeptides sur les neurones de l'hypothalamus et le métabolisme, on peut s'interroger sur leur rôle dans d'autres fonctions du cerveau, ont conclu les chercheurs qui ont démontré ainsi l'existence d'un dialogue direct entre le microbiote intestinal et le cerveau.

Mais comment le microbiote communique-t-il avec le cerveau ?

Comme l'explique l'Inserm, tout d'abord, des composés provenant du microbiote peuvent diffuser à travers la paroi intestinale, modulant le système nerveux entérique, et impactant ainsi le nerf vague.

Par ailleurs, ces composés peuvent atteindre le système nerveux central directement par le sang et devenir délétères pour certaines fonctions nerveuses.

D'autre part, des bactéries peuvent moduler des fonctions endocrines contrôlées par le système nerveux central, et ce en interagissant avec les cellules entéroendocrines de la paroi intestinale et qui sont en lien avec le cerveau (c'est la voie sérotoninergique).

Notre microbiote pourrait influencer nos prises de décision

Les résultats de ces premières études sont assez étonnants. Mais, par exemple, si l'on observe un lien entre la composition du microbiote et les compétences sociales, comment savoir lequel a une influence sur l'autre ?

Comment être sociable...

Les individus ayant tissé des réseaux sociaux plus étendus possèdent un microbiote varié, symptôme d'un intestin en bonne santé. Les bactéries de type *Lactococcus* notamment sont abondantes chez les personnes très sociables.

Des chercheurs de l'Institut du Cerveau et de l'université de Bonn ont voulu savoir quels mécanismes neuronaux, immunitaires ou hormonaux, sont à l'œuvre dans ce dialogue fascinant entre cerveau et intestin. Leur étude, publiée en mai 2024 dans la revue PNAS Nexus, a montré que des changements dans le microbiote intestinal pouvaient influencer notre sensibilité à l'injustice, et la façon dont nous traitons les autres.

Hilke Plassmann et ses collègues ont souhaité déterminer si la composition du microbiote intestinal humain était capable d'influencer la prise de décision dans un contexte social. Pour cela ils ont employé des tests comportementaux comme le « jeu de l'ultimatum ». Celui-ci consiste à attribuer une somme d'argent à un joueur, lequel doit la partager comme il le veut avec un second joueur. Si ce dernier juge la somme insuffisante, il est libre de décliner l'offre, et aucun des joueurs ne reçoit d'argent. Refuser la somme d'argent est une « punition altruiste » (c'est le besoin de sanctionner autrui en

présence d'une situation perçue comme inégalitaire). Cela montre que rétablir une situation d'égalité (personne ne reçoit d'argent) peut s'avérer plus important que d'obtenir une récompense, même faible. Ce jeu permet donc de mesurer la sensibilité à l'injustice.

Sur les 101 participants à cette étude, 51 ont pris des suppléments alimentaires sous forme de probiotiques (des bactéries bénéfiques) et de prébiotiques (des nutriments favorisant la colonisation des bactéries dans l'intestin), tandis que 50 autres recevaient un placebo. Et ce pendant 7 semaines. Il en a résulté que le groupe ayant reçu les suppléments était beaucoup plus enclin à rejeter les offres inégalement réparties, même lorsque le partage de la somme d'argent n'était que légèrement déséquilibré. A contrario, le groupe placebo s'est comporté de la même façon du début à la fin de l'étude.

De plus, des modifications biologiques ont été observées chez le groupe supplémenté : les participants ayant au départ le plus grand déséquilibre entre les deux types



de bactéries qui dominent la flore intestinale (les Firmicutes et les Bactéroïdètes), ont vu la composition de leur microbiote évoluer davantage. Et ce sont eux qui ont montré la plus grande sensibilité à l'injustice. Un précurseur de la dopamine, la tyrosine, avait fortement diminué également. La composition du microbiote intestinal pourrait-elle donc influencer le comportement social par l'intermédiaire des précurseurs de la dopamine - un neurotransmetteur qui intervient dans les mécanismes cérébraux de la récompense ? « *Il est trop tôt pour affirmer que les bactéries intestinales sont capables de nous rendre moins rationnels et plus réceptifs aux considérations sociales* », souligne Hilke Plassmann, tout en ajoutant : « *la perspective de moduler le microbiote grâce à*

l'alimentation pour influencer positivement la prise de décision est très enthousiasmante ! »

Les chercheurs rêvent d'intervenir sur ces microbes de façon thérapeutique afin d'améliorer la santé du cerveau. Les psychobiotiques, en apportant les bonnes bactéries dans l'intestin, permettraient de traiter de nombreuses affections mentales. Mais la difficulté sera de les adapter à chacun : chaque individu a un microbiote et une personnalité différents.

En attendant, rappelons que l'alimentation, la prise d'antibiotiques, le stress, la contamination par des polluants... influent sur notre microbiote. N'oublions pas d'adopter un régime alimentaire équilibré, riche en fibres et en aliments fermentés, pour avoir un microbiote sain... et donc un caractère plus heureux ! ●



Le microbiote intestinal est présent dans le colon (comme représenté ici), mais aussi dans l'intestin grêle. Telles les empreintes digitales, personne n'a le même.

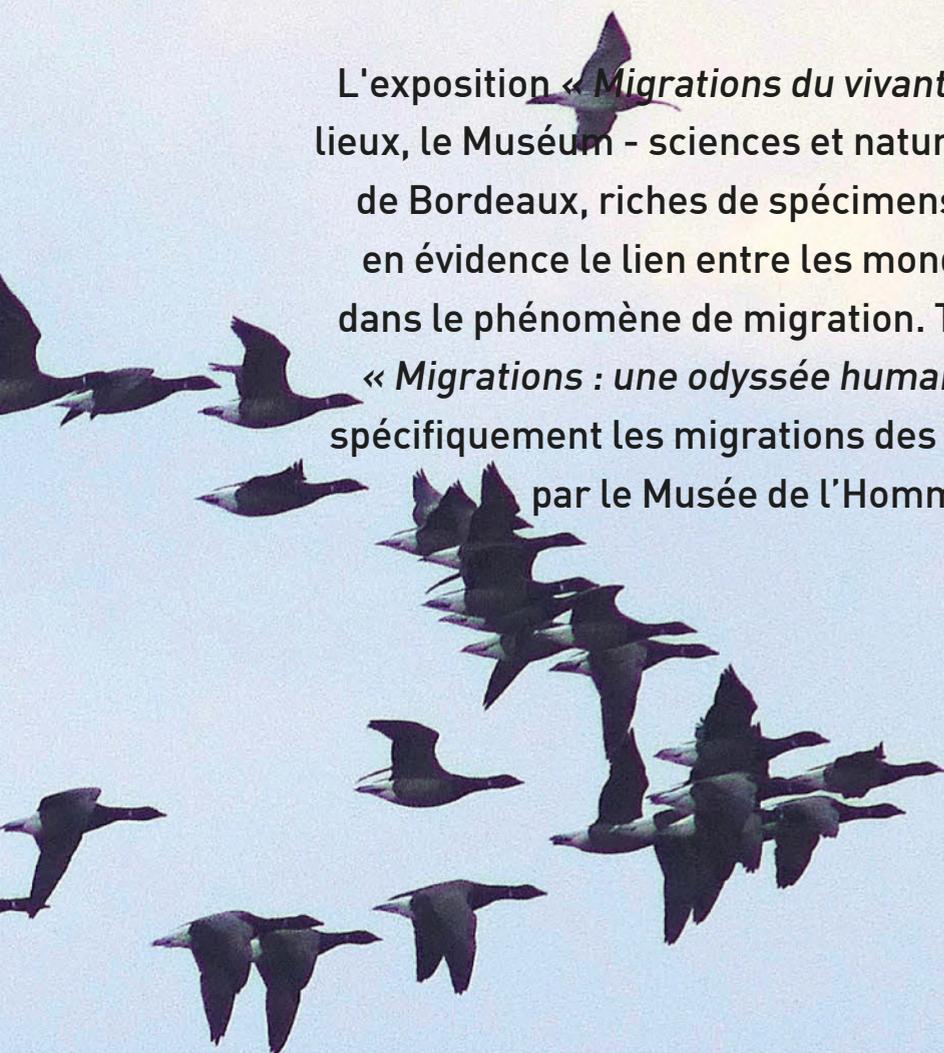
Les migrations, base de la survie du vivant



Les bernaches cravants hivernent sur les côtes de l'Europe occidentale. Leurs vols en formation permettent à l'ensemble du groupe de profiter des tourbillons générés par les oiseaux de tête. Ces derniers s'épuisent rapidement, des relais s'organisent pendant le voyage.

C'est tout le vivant qui migre ! Car le mouvement est une caractéristique essentielle de la vie sur Terre. Les migrations peuvent être végétales, animales, humaines. Quels sont leurs mécanismes biologiques sous-jacents ? Quels enjeux sociétaux et environnementaux y sont associés ? Les contextes historique, préhistorique, voire géologique, tout comme l'actualité récente permettent de mieux les comprendre. Appréhender les migrations du vivant, dans toute leur diversité, a pour ambition d'aider à déconstruire les idées reçues associées aux migrations humaines en replaçant notre espèce au sein du vivant.

L'exposition « *Migrations du vivant* », présentée sur deux lieux, le Muséum - sciences et nature et le Jardin botanique de Bordeaux, riches de spécimens des collections, met en évidence le lien entre les mondes animal et végétal dans le phénomène de migration. Tandis que l'exposition « *Migrations : une odyssée humaine* », expliquant plus spécifiquement les migrations des humains, est proposée par le Musée de l'Homme de Paris.



Pas de vie sans déplacements !

La migration est un phénomène répandu plus qu'on ne le croit dans la nature. Du zooplancton aux baleines, les migrations sont connues dans l'ensemble des groupes zoologiques. Elles sont en fait essentielles au développement et à la pérennité des espèces.

Comme l'expliquent le Muséum - Sciences et nature et le Jardin botanique de Bordeaux, tous les organismes sont mobiles, ou a minima se déplacent, à un moment de leur cycle de vie, de manière autonome ou transportés par un fluide ou par d'autres organismes. Ils se déplacent à la recherche d'eau, de nourriture, pour se reproduire, pour éviter

les prédateurs ou la compétition avec leurs semblables ou d'autres espèces. Ces déplacements s'effectuent ou non de façon régulière, et se produisent avec ou sans retour. Des populations qui nous semblaient « d'origine » viennent finalement d'ailleurs, ou de plusieurs ailleurs et se sont mêlées depuis longtemps : des siècles, des millénaires, des millions d'années...

Bien sûr, les migrations saisonnières des oiseaux sont les plus emblématiques. Mais des migrations sont connues dans les autres groupes zoologiques. Elles font notamment partie des stratégies de pérennisation des espèces végétales. Les déplacements ont joué un rôle fondamental dans l'évolution qui a mené à la diversité biologique actuelle.



© F. Devail



Vue de l'exposition « *Migrations du vivant* » au Muséum de Bordeaux.

Des capacités étonnantes pour trouver sa route

Quelles sont les espèces qui migrent ? Pour quelles raisons ? Comment le font-elles ? A quel rythme ? Vers quelles destinations ? Quelles en sont les conséquences ? Et les limites ? Des exemples parfois inattendus éclairent ces questions.

Pourquoi, en effet, entreprendre de périlleuses migrations coûteuses en énergie ? Les raisons sont diverses : trouver de la nourriture, se rassembler pour se reproduire, trouver un environnement propice au développement des oeufs et des juvéniles, échapper à un climat défavorable ou à la pression démographique... Les causes s'entremêlent souvent. Chez les plantes aussi, reproduction, nutrition, modification du climat constituent des motifs de déplacements.

La majorité des oiseaux change de latitude entre les saisons, mais d'autres espèces changent de longitude, d'altitude ou de profondeur. Certaines changent de milieu, migrant entre eau et terre, ou entre eau douce et salée. Des trajets peuvent avoisiner les dizaines de milliers de kilomètres, alors que d'autres ne feront que quelques centaines de mètres. De même, les végétaux se déplacent en latitude, en longitude et en altitude.

Pour ce qui est du rythme observé, certaines migrations suivent les rythmes des saisons mais également l'alternance jour/nuit. D'autres sont plus irrégulières, prenant la forme de déplacements difficiles à prévoir. Les dispersions, qui modifient les aires de répartitions des espèces animales et végétales, peuvent se faire sur des centaines, des milliers voire des millions d'années.

Suivre la bonne route, trouver sa destination, savoir quand partir, faire des réserves pour le voyage... chaque espèce dispose d'un ensemble d'adaptations spécifiques étonnantes - comportementales, physiologiques ou anatomiques - pour mener à bien les étapes du voyage. Les migrations sont aussi facilitées par les courants marins, les vents.

Suite à de grands événements géologiques liés aux mouvements des plaques tectoniques, des passages ont pu être créés et des écosystèmes entiers furent modifiés. Des espèces qui semblent faire partie



▲ Chez des insectes au cycle de vie court, on peut observer un phénomène de migrations saisonnières sur plusieurs générations. La migration de la Belle-Dame sur plusieurs milliers de kilomètres aller-retour, entre l'Afrique du Nord et l'Europe, nécessite jusqu'à 6 générations.

intégrante de territoires s'avèrent pourtant allochtones, arrivées très récemment dans ces milieux. Ces migrations peuvent entraîner des effets plus ou moins favorables pour l'écosystème d'accueil. Actuellement, avec le dérèglement climatique, la destruction des habitats, leur fragmentation par des barrières, la chasse, etc., les espèces migratrices et le phénomène de migration sont menacés. Aussi les scientifiques se mobilisent-ils pour étudier ces migrations. Cela peut se traduire par les baguages d'oiseaux, réalisés

depuis le 19^e siècle, complétés aujourd'hui par d'autres marquages facilitant les suivis d'espèces. Grâce aux sciences participatives, impliquant les populations, le suivi des espèces sur de grandes échelles spatiales est devenu possible. Des techniques se basent sur les génomes, d'autres sur des isotopes qui tracent les déplacements des espèces disparues. Tous ces procédés révèlent peu à peu les mystères de ces comportements déterminants pour l'équilibre des écosystèmes.

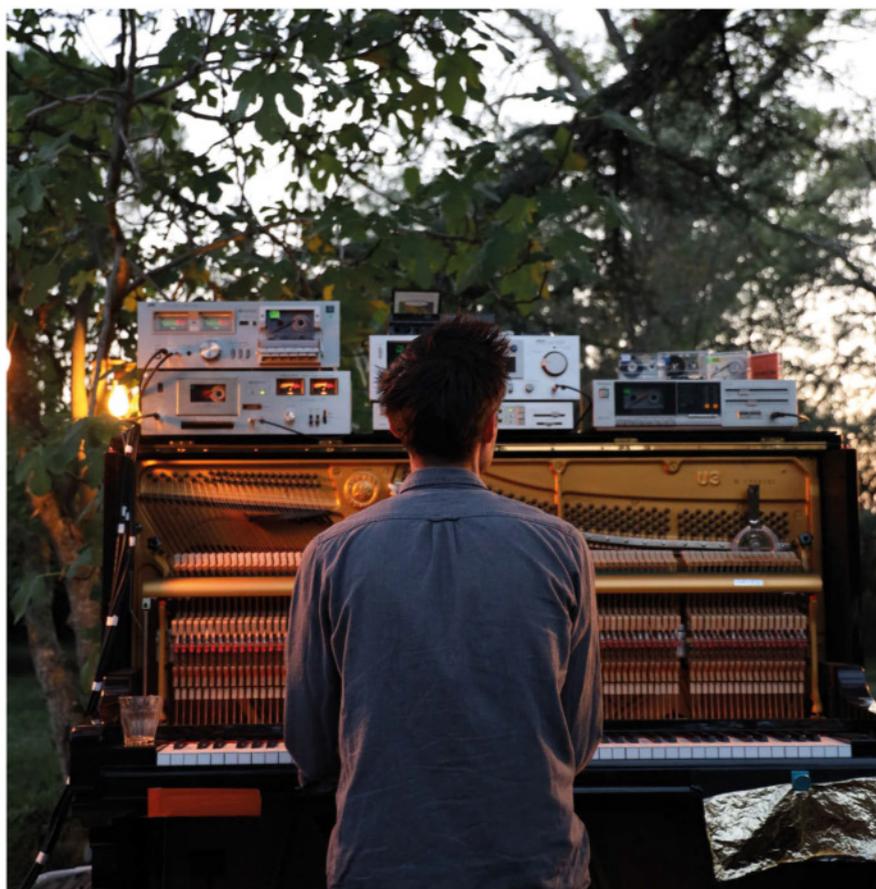
L'art à l'écoute de la nature

L'exposition « *Migrations du vivant* » est complétée par des regards d'artistes. Tous d'abord les « Ornithographies » du photographe catalan Xavi Bou, présentées jusqu'au 4 mai 2025 au Museum...

Ce sont des images composites qui fixent dans le ciel les trajectoires du vol des oiseaux. Des images fascinantes composées de dizaines ou de centaines d'oiseaux créant des lignes aléatoires, spirales montant dans le ciel ou chevelus semblant s'accrocher aux arbres. La technique consiste en une succession de photographies prises en rafale (250 à 1000), qui décomposent chronologiquement les phases du mouvement.

Ensuite, au Jardin botanique, sont présentés les micro-paysages de la performance « Leçons de chausses » de Gérard Hauray, qui se dit lui-même artiste essayiste. Cette performance est le résultat d'une de ses expériences interdisciplinaires interrogeant la relation de l'homme à la nature. Ces micro-paysages sont produits à partir de spores et de graines collectées sous les semelles de passants ou de visiteurs ; ils matérialisent une forme de migrations végétales induites par les humains.

Enfin, Lorenzo Naccarato, pianiste et compositeur franco-italien, présente « Murmurations - La



© DR

tournée des oiseaux » sous forme de concert dans la serre du Jardin botanique ou au Muséum. Il y explore de nouvelles façons d'habiter sa propre musique en s'inspirant des multiples façons avec lesquelles les oiseaux évoluent et habitent un espace. À son piano il associe un petit orchestre de magnétophones cassettes et une platine vinyle modifiée.

▲
Concert et animation musicale « *Murmurations, la tournée des oiseaux* » par Lorenzo Naccarato.

Les végétaux enracinés migrent eux aussi

L'exposition « *Migrations du vivant* », conçue et réalisée par le Muséum - sciences et nature et le Jardin botanique de Bordeaux, porte des valeurs d'éco-responsabilité. Elle a également reçu le label d'intérêt national.

Au Muséum - sciences et nature, une large part est faite aux migrateurs emblématiques, oiseaux et poissons, mais également grands herbivores et insectes. Des surprises peuvent surgir avec des espèces moins attendues et de très particulières adaptations aux voyages.

Au Jardin Botanique, on découvre comment les végétaux, enracinés et donc apparemment immobiles, migrent eux aussi. Comment, au fil des générations, des déplacements facilités par le vent, l'eau, les insectes ou les humains, vont leur permettre d'occuper de nouveaux espaces ou d'en délaisser d'autres, devenus inhabitables.

*Exposition Migrations
du vivant*
Jusqu'au 9 novembre 2025

*Muséum de Bordeaux
sciences et nature*
5 place Bardineau
Tél : 05 24 57 65 30
museum-bordeaux.fr

*Jardin botanique
de Bordeaux*
Esplanade Linné
Tél : 05 56 52 18 77
jardin-botanique-bordeaux.fr



Les migrations humaines étant une question trop vaste pour être approfondie dans l'exposition présentée à Bordeaux, celle-ci les aborde seulement, notamment

par deux dispositifs participatifs et interactifs qui interpellent le visiteur, l'invitant à regarder, à lire, à raconter quel migrant ou quel migrateur il est, ou a pu être...

Comment les migrations ont façonné notre humanité

Fantasmés, chiffres contradictoires, interprétations antagonistes... le thème des migrations humaines suscite aujourd'hui des débats incandescents, fracturant notre société. Le Musée de l'Homme, en tant que lieu qui explore les racines et l'avenir de l'humanité, propose de prendre du recul sur le sujet avec une grande exposition, « *Migrations : une odyssée humaine* », offrant un état des lieux de la recherche scientifique sur le phénomène migratoire.

Rappelons que les migrations ont toujours existé, depuis les origines de l'espèce humaine. De multiples approches sont convoquées dans l'exposition - anthropologie, démographie, archéologie, génétique, sociologie, droit, géographie, histoire - et divers supports exposés (objets caractéristiques des migrations, films pédagogiques, documents d'archives...). Ils fournissent des clés de compréhension essentielles pour saisir la complexité des phénomènes migratoires, à l'échelle de la planète et sur le temps long. Des oeuvres d'art et des témoignages qui jalonnent l'exposition invitent parallèlement à une découverte tout en sensibilité des parcours individuels.

Il s'agit en premier lieu d'examiner les perceptions, représentations et idées reçues qui entourent les mouvements migratoires. Alors que les profils des personnes en migration



diffèrent considérablement selon les époques, les stéréotypes qui leur sont attachés se répètent invariablement : les migrations sont presque toujours associées à l'idée de menace, d'invasion, de submersion. Elles sont perçues comme incontrôlables et imprévisibles, alors même qu'elles sont une réalité durable et constante. En effet, au total 96% des humains vivent dans leur pays de naissance : un chiffre stable depuis plusieurs décennies...

▲
 Cette œuvre de l'artiste indienne Reena Kallat est créée à partir de câbles électriques, transmetteurs d'idées et d'énergie, symboles de connexion. Mais tressés en forme de fils barbelés, ils évoquent aussi le barrage et l'interdiction de circuler.

L'exposition dresse ensuite un état des lieux des migrations actuelles. Quelles sont les multiples causes de départ, les trajectoires, les profils des personnes en migration ? Quel est le migrant archétypique ? Une personne de sexe masculin, jeune, pauvre et non diplômé, est loin de représenter une majorité dans la réalité. Aujourd'hui, 48% des migrants sont des migrantes, et les causes des départs (économiques, politiques, climatiques, familiales, éducatives ou récréatives) s'avèrent diverses et souvent imbriquées. La migration, révélatrice des inégalités sociales, économiques et environnementales qui règnent au sein de la population mondiale, est encouragée pour les uns, dépréciée pour les autres. Elle pourrait cependant être perçue comme une opportunité d'échanges culturels entre populations et individus. Des témoignages et de nombreuses

productions artistiques permettent de partager ces différents vécus.

La dernière partie de l'exposition ouvre une fenêtre sur notre passé lointain afin de rappeler que, dès son émergence il y a 300 000 ans, *Homo sapiens* n'a cessé de se déplacer, de se disperser sur l'ensemble du globe terrestre. Il suit en cela la dynamique de l'entière du vivant, assurant ainsi sa pérennité : sans mouvement, il n'y a tout simplement pas de vie ! Partie d'Afrique, l'espèce humaine s'est construite à travers

les rencontres, les échanges, les métissages qu'elle a provoqués au cours de ses déplacements. Dans toutes les directions, à toutes les époques, les humains avancent, laissant sur leur chemin les traces de leurs gènes, de leurs cultures et de leurs idées. Nous sommes tous les fruits de ces mouvements et nos sociétés, nos langues, nos gènes en témoignent. Ils sont riches de cette diversité. ●

*Exposition Migrations :
une odyssée humaine*

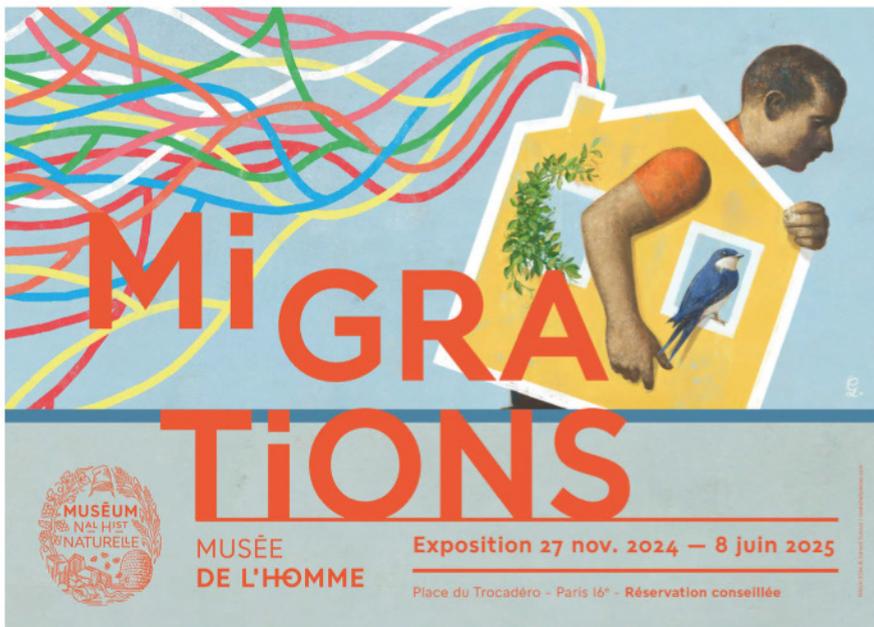
Jusqu'au 8 juin 2025

Musée de l'Homme
17, place du Trocadéro
Paris 16^e

Tél : 01 44 05 72 72
www.museedelhomme.fr



© Ruben Martín de Lucas



© MNHN 2024/Gérard Dubois

A photograph of a historical industrial mill room. The scene is filled with large, dark stone grinding stones (moulin) mounted on a complex metal frame. The machinery is supported by heavy iron columns and chains. In the background, a window with a grid pattern allows natural light to enter the space. The walls are made of rough, aged stone, and the overall atmosphere is one of a well-preserved industrial heritage site.

Sciences et industrie à la Manufacture des tabacs de Morlaix

L'exceptionnelle Salle des moulins

Après plusieurs années de travaux d'envergure, l'Espace des sciences, acteur majeur de la médiation scientifique à Rennes et à Morlaix, a ouvert ses portes en 2024 au sein de la Manufacture des tabacs de Morlaix. Plus grand centre de cultures scientifique, technique et industrielle du grand Ouest, il est ainsi l'un des très rares en Europe à réunir sciences et industrie. Il permet de s'y familiariser au coeur d'un superbe écrin patrimonial de 3 600 m².

La Manufacture des tabacs de Morlaix est la seule manufacture réhabilitée en France qui explore sa propre histoire, et ce à travers différents angles scientifiques, techniques et industriels. L'Espace des sciences célèbre l'ingéniosité des hommes et des femmes qui ont façonné l'histoire de la Manufacture, et recèle de magnifiques instruments techniques restaurés : 12 moulins à râper (classés Monuments Historiques) et 7 machines à confectionner carottes et cigares.

Mais l'Espace des Sciences présente également de nombreuses expositions permanentes – sur le tabac, l'épopée géologique du massif armoricain, le pendule de Foucault... - qui seront par la suite complétées par des expositions temporaires sur des thématiques liées à l'actualité scientifique.

Une architecture reflétant l'ordre et la rigueur

Le parcours permanent se compose tout d'abord de « *La Manufacture, un palais de l'industrie* », un espace présentant l'histoire architecturale du site du 18^e siècle à nos jours.

Lieu de travail et de production, une manufacture reflète l'ordre, la rigueur et l'économie des ressources à travers une architecture rationnelle. Au 19^e siècle, la révolution industrielle a transformé les processus de fabrication, augmentant considérablement la productivité. Au fil du temps, la Manufacture a été modernisée et

agrandie. À Morlaix, entre 1867 et 1871, des projets ambitieux ont vu le jour, intégrant la force de la vapeur et érigeant de nouveaux ateliers, parmi lesquels la Salle des moulins.

« *L'atelier* » invite le jeune public à l'expérimentation ludique de manipulations scientifiques en

Trois siècles de progrès techniques

Conçue sur ordre du roi Louis XV et ouverte en 1740, la Manufacture des tabacs de Morlaix compte parmi les premières manufactures royales en charge de la transformation du tabac. Elle emploiera jusqu'à 1 800 ouvriers au 19^e siècle. Sa production, allant du tabac à mâcher aux cigares, s'adaptera aux avancées techniques au fil du temps. Les exceptionnels moulins à râper (datés de 1871) témoignent de cette évolution. Véritable institution au cœur de la ville, la Manufacture fermera son dernier atelier en 2004.



▲
La Manufacture de Morlaix,
un palais de l'industrie.



lien avec l'histoire de l'établissement. Dix modules proposent aux familles de découvrir des phénomènes fascinants, de la mécanique du mouvement à la physique des matériaux, en passant par les mystères de l'électricité

et de la lumière. En prime, plusieurs expériences dévoilent les secrets de la Manufacture... L'une d'elles explore le processus de conversion d'énergie lumineuse en électricité. Une autre invite à découvrir comment les systèmes

de poulies permettent de soulever des charges plus lourdes avec moins d'effort. Une autre encore, interactive, permet de comprendre les mécanismes qui transmettent le mouvement.

Quand le tabac était un remède exotique

Autre exposition permanente, « *Le tabac, du remède au poison* » retrace l'histoire de la plante *Nicotiana tabacum*, ses origines, ses propriétés, sa culture, sa consommation, sa commercialisation et ses effets néfastes sur la santé.

Fabriqué à partir des feuilles séchées de la plante, le tabac présente une grande diversité botanique. Originaire d'Amérique du Sud, *Nicotiana tabacum* appartient à la famille des Solanacées et compte une soixantaine d'espèces. Ses différentes variétés - tabac blond, tabac brun... - offrent une gamme de goûts et de propriétés distincts.

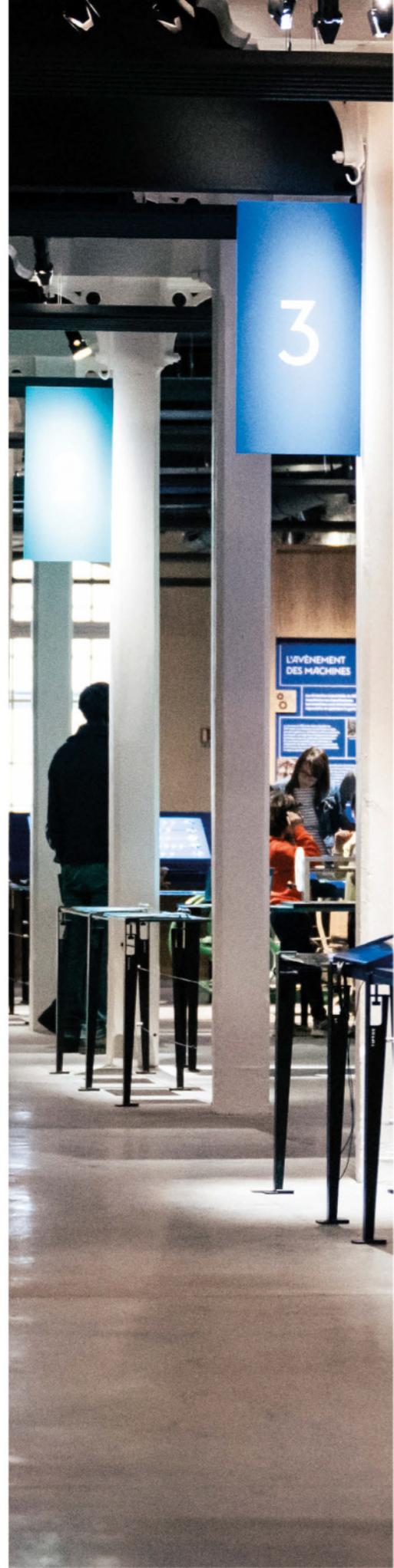
Découvert par Christophe Colomb dans les Bahamas en 1492, le tabac était utilisé depuis des millénaires par les Amérindiens pour ses propriétés curatives et magiques. Rapporté en Europe, il devint rapidement populaire grâce notamment à sa présentation à la reine Catherine de Médicis comme remède contre les maux de tête.

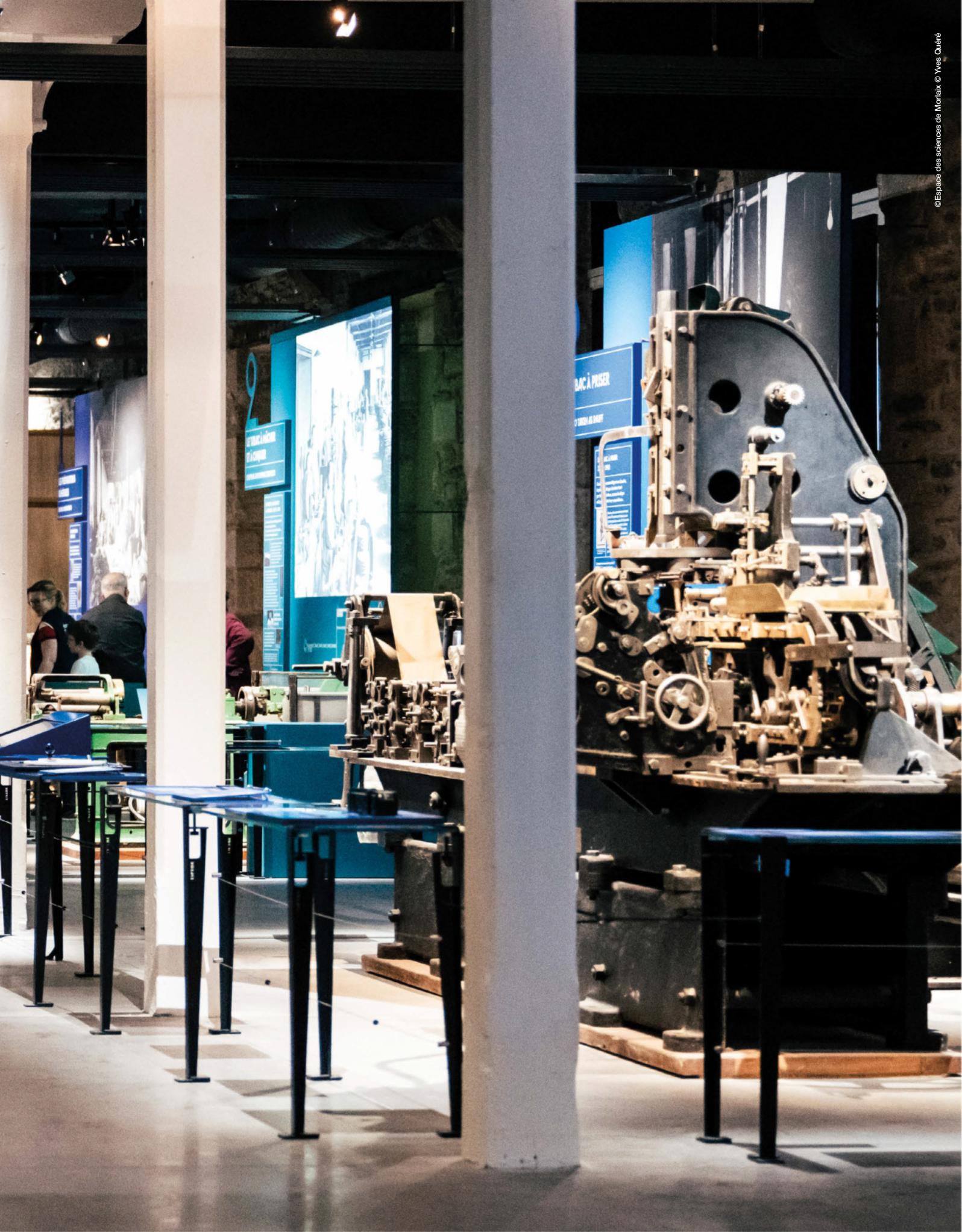
Lancée en France au 17^e siècle, la culture du tabac a rencontré des défis de rentabilité en dépit de la mécanisation. Aujourd'hui, la production française est en baisse,

laissant place aux principaux producteurs mondiaux : Chine, Brésil et Inde. En France, l'État a détenu le monopole de la production et de la vente du tabac jusqu'à la privatisation de la SEITA en 1995. La vente est aujourd'hui réservée à l'administration des douanes par le biais de débitants agréés.

Cigarette, tabac à priser, à mâcher... la première s'est imposée après la seconde guerre mondiale, alors que certaines formes de consommation traditionnelles ont peu à peu disparu. Quant à la dangerosité du tabac, elle fut révélée au grand public par des scientifiques américains en 1950.

►
L'Espace des sciences est le plus grand centre de cultures scientifique, technique et industrielle du grand Ouest.





Un lieu unique

Le râpage mécanique du tabac est présenté dans la salle « *Les Moulins* », où se situent les moulins restaurés d'époque, véritable joyaux du patrimoine. Classée Monument Historique, cette salle est le symbole de la mécanisation de la Manufacture. On y rapait le tabac pour fabriquer la poudre à priser.

Installés en 1871, ces moulins mécaniques ont ainsi mis un terme au râpage manuel, extrêmement coûteux et pénible. En effet, faire tourner les moulins « à bras » nécessitait le concours de centaines d'hommes ! Alors qu'avec ce dispositif de râpage entièrement automatisé, seuls 3 à 4 ouvriers étaient nécessaires. Aménagé sur 3 niveaux, il comprend 12 moulins en fonte, des courroies, vis d'Archimède et 2 norias. L'espace a été restauré, après notamment un incendie en 1995, et les moulins et norias remis en marche.

Quant aux 7 autres machines de production, elles sont exposées dans la salle « *Des machines et des Hommes* », où est explorée la corrélation entre l'évolution des conditions de travail et les avancées technologiques des machines. La révolution industrielle du 19^e siècle a particulièrement transformé les manufactures du tabac, et celle de Morlaix se distingue en

étant la seule manufacture française à fabriquer tous les produits du tabac.

Sont expliqués les processus de fabrication de ces produits, du travail manuel à l'arrivée des machines : les étapes de préparation des feuilles de tabac, les techniques de torsion et de compactage des feuilles pour fabriquer les rôles et les carottes, les étapes de production du tabac à priser, les différentes méthodes de fabrication du tabac à fumer. Pour chaque processus, une ancienne machine est associée à un principe mécanique : bielle-manivelle, croix de Malte, engrenages, vis d'Archimède...

Une main-d'œuvre abondante était requise pour les opérations manuelles : plus de 900 personnes travaillaient aux rouets, presses et moulins, avant l'introduction de la vapeur en 1867. À la fin du 20^e siècle, l'effectif atteignait 1 800 personnes, principalement des



▲
L'Espace des sciences de Morlaix présente de nombreuses expositions permanentes.



femmes employées à la confection manuelle des cigares. Les conditions de travail étaient difficiles, comme partout ailleurs, et les enfants largement utilisés.

Mais avec la mécanisation, la Manufacture fut un laboratoire social, préoccupée par le bien-être de son personnel, avec des mesures de protection sociale comme des

caisses de secours, des salles de classe ou encore l'installation de salles de bain contribuant au développement de l'hygiène.

« Voir » tourner la Terre

L'Espace des sciences de Morlaix propose également une expérience mettant en lumière ce qu'on ne peut qu'imaginer : la rotation de la Terre. Et ce avec un pendule de Foucault réalisé par les élèves et professeurs de l'ENSMM (École Nationale Supérieure de la Mécanique et des Microtechniques) de Besançon.

Les volumes de la Manufacture de Morlaix permettent en effet l'installation d'un pendule de Foucault de 11 mètres de long. Bien que l'on ait l'impression que le pendule

oscille et tourne sous nos yeux, ce n'est pas le cas. C'est bien nous qui sommes en train de tourner en même temps que notre planète ! Conçue en 1851 par Léon Foucault, cette démonstration eut un succès phénoménal : plus besoin d'avoir des connaissances en astronomie pour observer la voûte céleste et comprendre ce phénomène. Foucault la reproduira par la suite à différentes échelles, à l'Observatoire de Paris et au Panthéon.

L'Espace des Sciences présente aussi « *Le jardin des planètes* »,

une visualisation du Système solaire et une découverte 3D des 8 principales constellations (la Grande Ourse, Orion ou encore Cassiopée) conçu tout en poésie par l'artiste Patrick Michel. Il est situé tout en haut des combles où sont reproduites la voûte céleste, ses étoiles et notre galaxie. Les réalisations en 3D permettent d'appréhender "la profondeur" de chaque constellation, tandis que la voix de l'astrophysicien Hubert Reeves conte plusieurs histoires cosmiques et présente notre Univers.



© Espace des sciences de Morlaix © Yves Quére

▲
Le pendule de Foucault.

Un savant autodidacte

Physicien et astronome français autodidacte, Jean-Bernard Léon Foucault (1819-1868) est devenu célèbre grâce à sa démonstration de son pendule en 1851. Cette année-là, il « *invita, les scientifiques et le peuple français, à venir voir tourner la Terre sur elle-même* ». Il apporta ainsi la preuve tangible de la rotation de la Terre, alors que la théorie sur l'héliocentrisme de Copernic (le Soleil au centre de l'Univers), appuyée par Galilée, avait pris le pas sur la théorie du géocentrisme de Ptolémée (une Terre immobile au centre). En 1862, le savant a également réalisé une expérience sur la lumière pour calculer la vitesse de celle-ci dans deux milieux différents : l'eau et l'air.

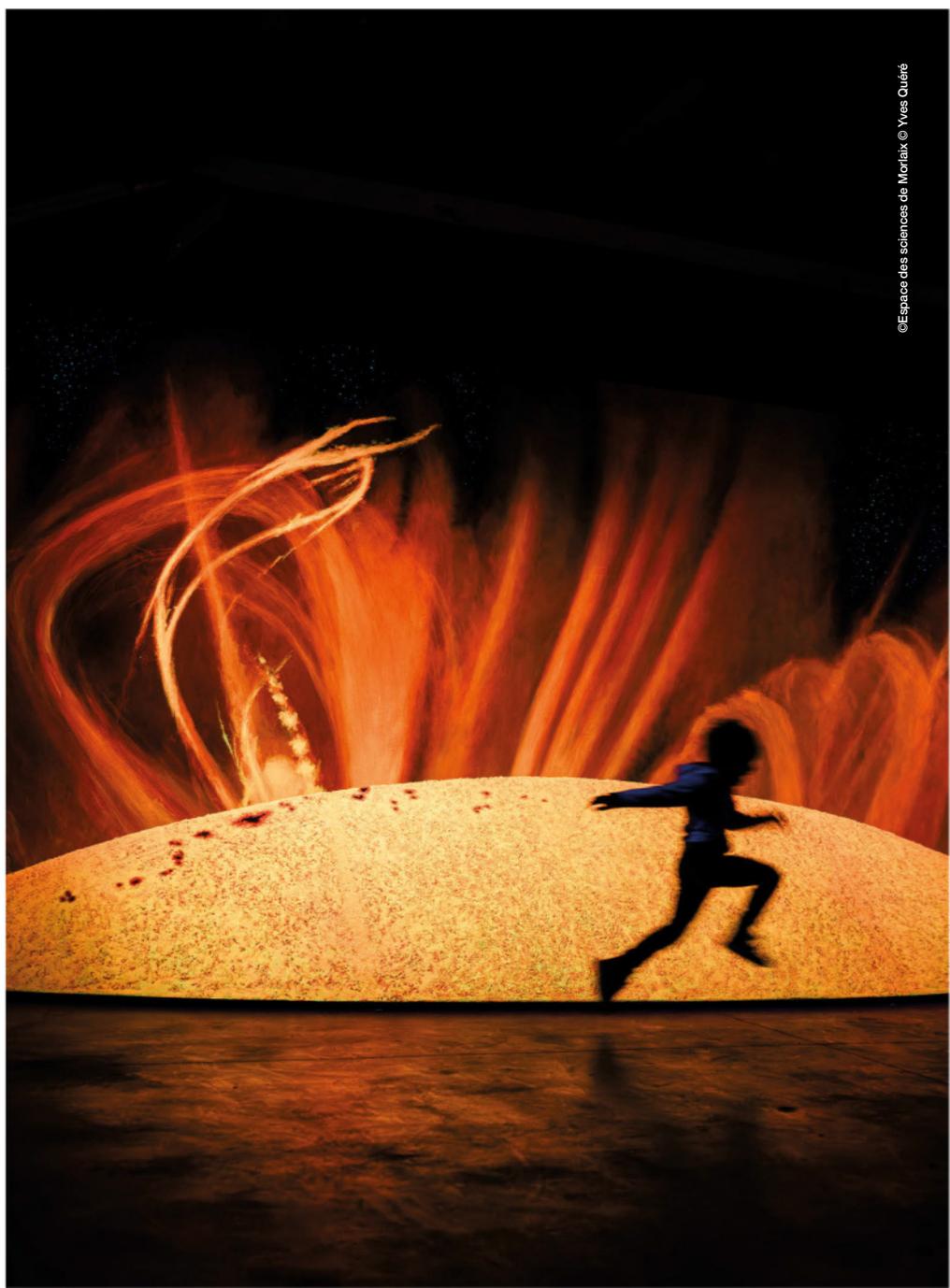
L'Armorique : volcans, séismes, île tropicale...

Enfin, l'exposition « *Les roches armoricaines* » retrace l'épopée géologique du Massif armoricain, depuis 650 millions d'années. En parallèle, un globe terrestre interactif invite à appréhender les enjeux actuels de notre planète.

En 6 grands épisodes, l'évolution des paysages du massif est expliquée avec, à chaque étape, un film à l'appui : d'abord une cordillère volcanique, puis une mer chaude où la vie se diversifie, une chaîne de montagnes survolée de libellules géantes, une île tropicale, une savane, et enfin une steppe froide où s'installe l'homme de Néandertal.

Au départ, une plaque océanique s'est enfoncée sous le premier continent armoricain. Des volcans sont alors apparus en surface. Après 50 millions d'années, un autre continent, entraîné par la disparition progressive de la plaque océanique, a percuté le continent armoricain. Cette collision donna naissance à une chaîne de montagnes aux volcans très actifs, la chaîne cadomienne, dont des vestiges sont visibles dans le nord du Massif armoricain.

Le jardin des planètes.



Les reliefs de la chaîne cadomienne se sont érodés, provoquant l'accumulation de sédiments continentaux. La mer a progressivement envahi le continent armoricain et des sédiments marins se sont déposés pendant 100 millions d'années sur plus d'un kilomètre d'épaisseur. La vie, d'abord limitée à quelques colonies bactériennes, s'est développée rapidement avec l'apparition de nombreuses espèces d'algues et d'invertébrés marins (éponges, méduses, trilobites...). Leurs traces constituent aujourd'hui l'une des plus anciennes faunes retrouvées en France.

Puis un nouveau continent percuta le Massif armoricain. Durant 50 millions d'années, cet affrontement érigea une chaîne de montagnes culminant probablement à près de 7 000 mètres : la chaîne hercynienne. Cette collision fut comparable à celle de l'Inde et de l'Asie qui, actuellement, érige la chaîne himalayenne. Après 80 millions d'années, la rencontre des deux continents se transforma en un mouvement coulissant le long d'une grande faille, qui s'étend aujourd'hui de la pointe du Raz au Poitou. Toujours active, cette faille est à l'origine des séismes qui se produisent au sud du Massif armoricain.

Puis les reliefs se sont érodés, les mers ont entouré peu à peu le Massif armoricain qui devint une

grande île au climat chaud et humide. À l'Ouest débuta l'ouverture de l'océan Atlantique. L'Eurasie et l'Afrique s'éloignèrent progressivement des Amériques. Les pluies tropicales altèrent progressivement les roches. Forêts de mangroves, lacs, marécages, savanes et forêts recouvraient les reliefs. Nous nous situons il y a 15 millions d'années et la mer recouvrait alors une région comprise entre la Vendée et le golfe de Saint-Malo.

Enfin des périodes froides et tempérées se sont succédé, comme aujourd'hui, faisant alterner la ligne des côtes. Lorsque la calotte glaciaire s'étendait jusqu'au sud de l'Angleterre, asséchant la Manche, nos ancêtres s'aventuraient dans les steppes à la poursuite des troupeaux de grands mammifères.

Pour connaître cette histoire en détail, rendez-vous à l'Espace des Sciences de Morlaix... ●

La Manufacture des tabacs

42, quai du Léon
29600 Morlaix
Tél : 02 98 15 29 27

www.espace-sciences-morlaix.org

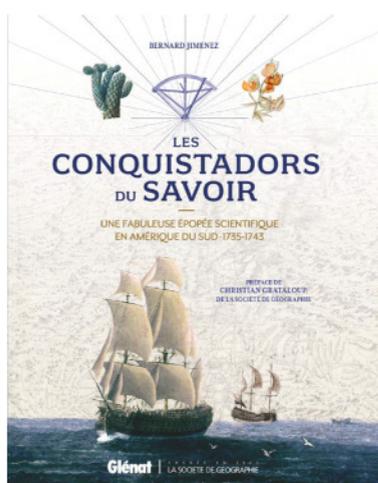
**Il _____ un
commerçant
et pose
sa _____ dans
une _____.**

Le pire reste à lire

CRIMES
MAGAZINE

LIVRES

LES CONQUISTADORS DU SAVOIR

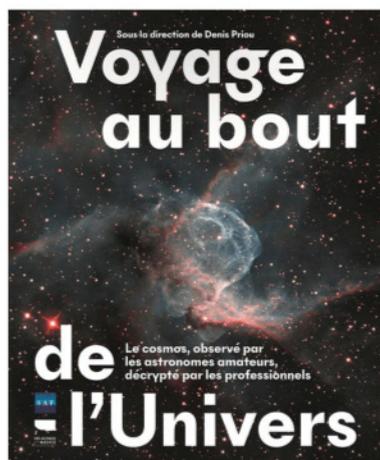


Doté d'une riche iconographie, ce livre nous emmène à la découverte de la première expédition scientifique française au 18^e siècle : une fabuleuse épopée qui s'est déroulée en Amérique du Sud. Son but consistait à déterminer la véritable forme de la Terre, alors que les partisans de Newton pensaient que notre planète était aplatie aux pôles et que ceux de Descartes étaient persuadés qu'elle avait la forme d'un œuf. Les résultats de la mission furent au-delà des espérances...

« *Les conquistadors du savoir* »
par Bernard Jimenez - Glénat
2024 - 192 pages - 39,95€

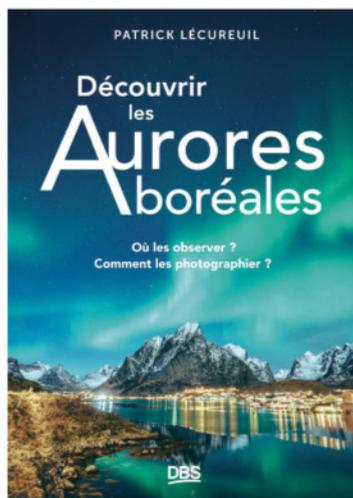
VOYAGE AU BOUT DE L'UNIVERS

Cet ouvrage collectif de référence dirigé par Denis Priou, membre de la Société astronomique de France qui a réalisé les plus belles photos du cosmos, nous plonge dans l'immensité de l'Univers. Chaque objet céleste - planète, étoile, galaxie, comète, supernova... - est illustré par des clichés d'astronomes amateurs époustouflants, et chaque photo décryptée par un astronome professionnel.



« *Voyage au bout de l'univers* », sous la direction de Denis Priou - Delachaux et Niestlé / Société astronomique de France
2024 - 256 pages - 36,90€

DÉCOUVRIR LES AURORES BORÉALES



Parmi les phénomènes célestes, les aurores boréales sont l'un des plus féériques ! Elles sont particulièrement intenses et fréquentes depuis deux ans. Où les observer ? Comment

les photographier ? Quelles sont leur origine et leurs spécificités ? L'animateur et conférencier en astronomie Patrick Lécureuil nous en livre les secrets.

« *Découvrir les aurores boréales* »
par Patrick Lécureuil - De Boeck
2024 - 208 pages - 17,90€

L'ANIMAL LE PLUS INTELLIGENT DU MONDE

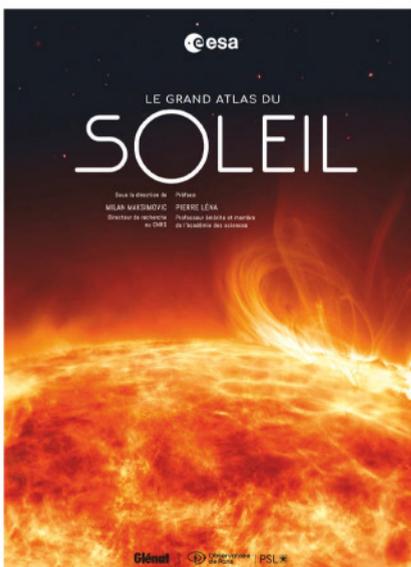


Savez-vous que la vache que vous allez manger avait des amies ? Ou que le cochon de votre sandwich était capable de jouer à un jeu vidéo ? Oui, les animaux pensent, réfléchissent, ont des sentiments, ressentent les états d'âme de leurs congénères. Cette BD est écrite par un enseignant passionné de sciences naturelles soucieux du respect de toutes les espèces.

« *L'animal le plus intelligent du monde* »,
par Gilles Macagno - Delachaux et Niestlé
2024 - 96 pages - 19,90€

DÉCOUVERTES

LE GRAND ATLAS DU SOLEIL



Élaboré en partenariat avec l'ESA par des chercheurs du CNRS et des astrophysiciens de l'observatoire de Paris, cet ouvrage, illustré de nombreux schémas et photos inédites, répond à de nombreuses questions sur notre étoile, si proche et pourtant si mystérieuse. Il propose également les dernières données sur le Soleil grâce aux résultats de la mission Solar Orbiter.

« *Le Grand Atlas du Soleil* »,
dirigée par Milan Maksimovic - Glénat /
ESA - 2024 - 176 pages - 39,95€

LES GRANDS SECRETS DE L'UNIVERS

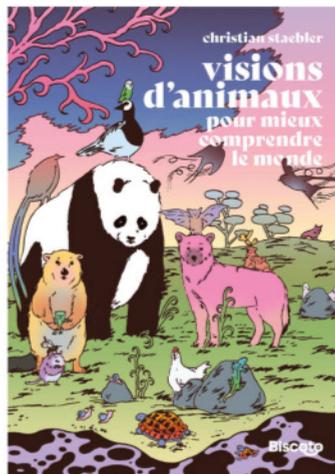
Quelle est l'origine du cosmos ? D'où vient l'énergie des étoiles ? Peut-on voyager dans l'espace temps ? Va-t-on bientôt découvrir la vie ailleurs ? Préfacé par le prix Nobel de physique Michel Mayor, ce livre illustré de façon ludique propose à tout lecteur curieux,



à partir de 12 ans, un fascinant voyage à la découverte de l'Univers et de ses mystères en 100 questions passionnantes.

« *Les grands secrets de l'Univers* »
par Michel Gauthier Clerc / Illustrations
de Yannick Clerquin - De Boeck
2024 - 160 pages - 22,90€

VISIONS D'ANIMAUX



Savez-vous que le paresseux vit en symbiose avec une algue ? Que les tympanes du grillon champêtre se trouvent dans ses tibias ? Que

la coquille Saint-Jacques possède 200 yeux ? Cet ouvrage documentaire nous propose de faire la connaissance de dizaines d'animaux très connus ou plus mystérieux et d'apprendre plein d'informations étonnantes tant sur les araignées que sur les dinosaures. Et également de découvrir les grands principes scientifiques de la vie sur Terre.

« *Visions d'animaux : pour mieux comprendre le monde* », par Christian Staebler - Biscoto - 2024
180 pages - 20€

VOUS REPRENDREZ BIEN UN PEU DE PHYSIQUE ?



Comment dévier un ballon de foot pour un coup franc ? Pourquoi fait-il froid en altitude ? Pourquoi fait-il froid en altitude ? Newton a-t-il vraiment reçu une pomme sur la tête ? Écrit par 4 professeurs désireux de rendre la physique plus attrayante et accessible à tous, et présents notamment sur la chaîne YouTube e-profs, ce livre vous invite à explorer les phénomènes physiques de notre quotidien. Des QR-code permettent de visualiser 16 vidéos explicatives.

« *Vous reprendrez bien un peu de physique ?* », par Aurore Barletta, Boris Chauvin, Damien Fenrich et Lauriane Moll - Ecole Vivante - 2024
200 pages - 18,50€

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

J'ai entendu dire que la NASA a demandé à la société Space X de « détruire l'ISS ». Est-ce une fake news ?

Nathalie W., La-Teste-de-Buch (33)

Science magazine : Absolument pas. Simplement, ce n'est pas pour tout de suite. Mais la Station vieillit et devra être désorbitée en 2030 après plus de 30 ans de service. C'est une version beaucoup plus lourde du cargo d'approvisionnement Dragon qui sera conçue pour cette opération qui devrait durer 6 mois. L'ISS brûlera à son entrée dans l'atmosphère terrestre et les restes tomberont dans l'océan Pacifique sud.

Combien de satellites Starlink vont être mis en orbite par Elon Musk ? Cela n'en finit pas... Comment peut-on autoriser une telle pollution de l'espace avec les risques que cela représente au niveau des collisions ?

Simon P., Epernay (51)

Science magazine : Il y avait 6000 satellites Starlink en orbite mi-2024, avec un objectif de 12 000 en 2025 et une constellation à terme de 42 000 satellites. Ils fourniront un réseau Internet à très haut débit au monde entier, même dans les endroits les plus reculés, en étant bien plus efficaces que les actuels satellites géostationnaires au niveau du temps de latence. Mais il est vrai que le nombre de satellites en orbite basse va ainsi être multiplié par 20, ce qui multiplie grandement les risques de collisions, mais aussi gêne les observations astronomiques à partir de la Terre de par la pollution lumineuse provoquée. Sans compter que la Chine prévoit de déployer sa propre constellation de plus de 15 000 satellites, une opération débutée en août dernier.



Comment se fait-il que les deux astronautes, partis pour 8 jours sur l'ISS l'été dernier, y soient bloqués jusqu'en février 2025 suite au refus de la NASA de les laisser rentrer à bord du nouveau vaisseau Starliner, de Boeing, qui pouvait présenter quelques risques. Les vols à destination de la Station spatiale internationale sont-ils si peu fréquents ?

Maya B., Abbeville (80)

Science magazine : Effectivement. Les voyages d'astronautes vers l'ISS s'effectuent à bord du vaisseau Crew Dragon, de Space X, qui devait être complété par le vaisseau de Boeing afin que la NASA dispose de deux prestataires. Ces vols se déroulent tous les 6 mois en moyenne, le temps d'une mission. Par contre, les vols de Dragon, la capsule de fret ne transportant pas d'équipage, sont plus nombreux.

Les expériences faites au CERN sont très pointues en matière de physique des particules, l'objectif étant de découvrir les secrets de l'Univers. Mais ont-elles des applications pratiques pour notre vie quotidienne, à l'instar

des découvertes faites pour la conquête de l'espace ?

Ludovic J., Mortagne-du-Perche (61)

Science magazine : Mais certainement. De nombreuses découvertes réalisées par des scientifiques du CERN, le Conseil européen pour la recherche nucléaire, ont été récompensées notamment par des Prix Nobel : thérapie du cancer, imagerie médicale et industrielle, techniques de gestion des radiations, électronique rapide, instrumentation de mesure, nouvelles techniques de fabrication, nouveaux matériaux...

Je vous remercie de me donner les coordonnées d'organisations dédiées à la protection des animaux sauvages. Ce n'est pas toujours clair sur Internet pour connaître les plus sérieuses.

Quentin R., Juvisy-sur-Orge (91)

Science magazine : Sur le site www.my-wildlife.com/10-associations-a-soutenir-pour-la-protection-des-animaux-sauvages, vous avez une liste, non exhaustive, de 10 grandes associations (WWF, LPO, ASPAS...) dédiées à cette protection.

3 ALBUMS STUDIO

2 DISQUES D'OR

5 DISQUES DE PLATINE

10 DISQUES DE DIAMANT

7 TOURNÉES NATIONALES

4 TOURNÉES INTERNATIONALES

28 ARTISTES COLLABORATEURS

30 CLIPS

8 NOMINATIONS

5 RÉCOMPENSES MUSICALES

10 SINGLES DANS LE TOP 50

6 162 347 AUDITEURS MENSUELS

3 440 486 ABONNÉS

1 SÉRIE DOCUMENTAIRE

24H EN GARDE A VUE

Vos stars se racontent

