

Comment ça marche

----- LE MAG QUI DÉCRYPTE LE MONDE -----

#134



CHIMIE

Pourquoi les aliments
moisissent

4,50 €
SEULEMENT

L'ADN

ou le génie du vivant

Comment cette molécule
dicte ce que nous sommes

TECHNO

Un drôle de
navire à l'assaut
de l'Antarctique

NATURE

Sur les traces
de la panthère
des neiges

SANTÉ

Les nouveaux
traitements
de la myopie





LE PREMIER ROMAN GRAPHIQUE
CONSACRÉ AU PLUS CÉLÈBRE DES
Empereurs

Le mot du mois

ADN

Nom masculin, abréviation d'acide désoxyribonucléique.

Définition:

Ce nom définit la longue molécule (deux mètres lorsqu'elle est entièrement dépliée, contre seulement quelques millièmes de millimètre dans sa forme « pelotonnée ») que l'on retrouve dans le noyau de presque toutes les cellules des organismes vivants. Elle contient l'ensemble des informations génétiques nécessaires pour « construire » et faire fonctionner un organisme. En clair, l'ADN est un mode d'emploi au sein de chaque être vivant. C'est l'ADN qui dicte, entre autres, la couleur de notre peau, de nos cheveux ou encore de nos yeux.

Pour nous écrire:

**Comment
ça marche**

Fleurus Presse /
Unique Heritage Media
141, boulevard Ney
75018 Paris

ou
ccm@fleuruspresse.com

Pour vous abonner:
www.fleuruspresse.com



© Crédits couverture: Shutterstock / Illustration: Denis Truchi; Getty
© Future Owns; Ulu Travel



Se reposer en roulant

À Hong Kong, des bus circulent jour et nuit durant cinq heures, sans destination.

L'objectif: permettre aux passagers manquant de sommeil de profiter du voyage et du ronron du moteur pour sombrer quelques heures dans les bras de Morphée à bord du bus.



DES AUTOCARS POUR DORMIR

Pour trouver le sommeil, des insomniaques se paient un tour en bus de quelques heures

« Les voyages forment la jeunesse », si l'on en croit le philosophe Montaigne (1533-1592). Il semblerait que ce ne soit pas là leur seule vertu... Depuis le 16 octobre dernier, à Hong Kong, des voyages – en autobus – procurent du repos à celles et ceux qui souffrent de ne pas dormir suffisamment. Non pas en les envoyant se mettre au vert, mais en leur faisant faire le tour de la ville pour les bercer et leur permettre ainsi de trouver le sommeil!

Une drôle d'initiative lancée par la compagnie de bus hongkongaise Ulu Travel à partir d'un constat: à Hong Kong, les travailleurs stressés ont tendance à s'assoupir dans les transports en commun. Selon Shirley Li, du laboratoire de recherche sur le sommeil de l'université de Hong Kong, les habitants de la ville ne disposent pas d'assez d'heures pour dormir et tentent de grignoter du temps de sommeil durant leur trajet quotidien. Autant profiter de cette aubaine

pour faire recette, quitte à consommer du pétrole et polluer pour rien...

Pour un ticket compris entre 11 et 44 euros – selon le confort du siège –, les voyageurs épuisés se voient offrir un masque pour les yeux et des bouchons d'oreilles. Certains passagers prennent soin d'emporter également

leur oreiller et leurs chaussons, voire une couverture pour garantir la qualité de leur repos. Ensuite, c'est parti pour une boucle de 76 km, durant environ cinq heures. Et vu le succès de ces *sleeping tours* (« excursions pour dormir »), le concept doit être efficace.

Si l'effet de roulis des transports agit bien sur certaines personnes pour les faire plonger dans les bras de Morphée, l'explication scientifique sous-jacente reste, elle, méconnue. Des chercheurs avancent que les vibrations du véhicule se synchroniseraient avec les ondes cérébrales et induiraient la somnolence. Quelle qu'en soit l'explication, c'est une sieste plutôt coûteuse!  **Karine Jacquet**



24

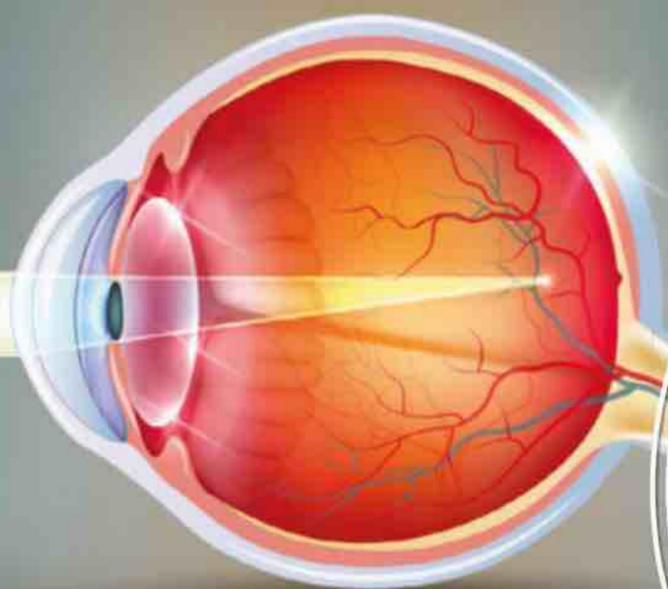
À LA UNE L'ADN

Comment cette molécule dicte la « construction » et le fonctionnement de notre organisme.

40

POURRITURE

Au cœur des réactions chimiques qui gâtent nos aliments.



58

SANTÉ

Focus sur la myopie, un trouble de la vision de plus en plus répandu.



66

FRENCH TECH

Toopi Organics récupère l'urine humaine pour en faire de l'engrais!

Nature Techno Histoire Espace Science

06 FAQ

10 Actualités des sciences

24 À la une: L'ADN ou le génie du vivant

36 Interview: Sébastien Mitton

40 Tous pourris! Quand nos aliments tournent mal...

48 Températures: d'un extrême à l'autre

50 Polar Pod: Un navire vertical à la découverte de l'océan Austral

58 Le grand boom de la myopie

62 Le bus à hydrogène trace sa route

66 French Tech

68 Les objets du mois

70 Les animaux du toit du monde

76 D'où viennent les cours d'eau?

78 Molière en 10 questions

84 Dian Fossey

86 Agenda

95 Littérature SF

96 Jeux

97 Les chiffres du mois



50

POLAR POD

Ce curieux navire d'exploration vertical partira bientôt affronter la violence de l'océan Austral.

62 HYDROGÈNE

Cette source d'énergie prometteuse alimente déjà des flottes de véhicules publics...



70

HIMALAYA

Sur les traces de la panthère des neiges.



36

SÉBASTIEN MITTON

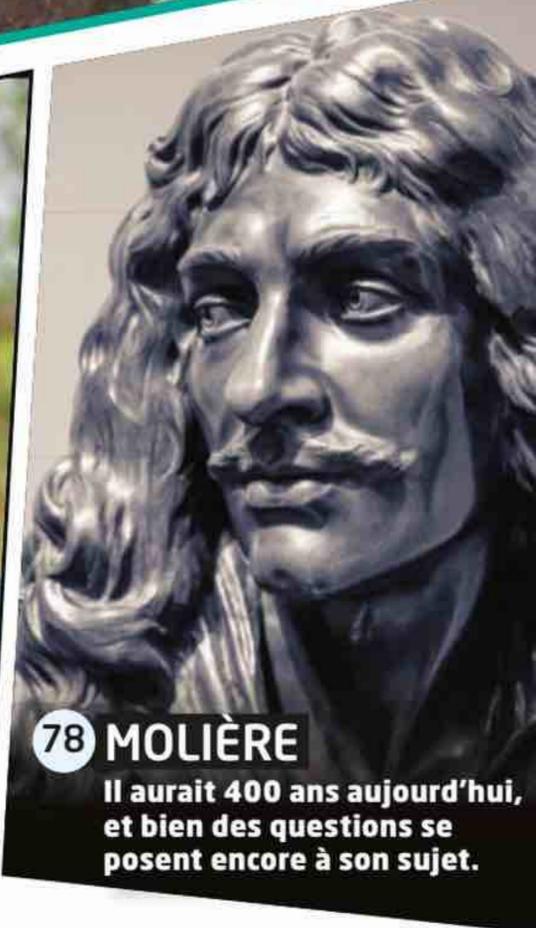
Rencontre avec le directeur artistique des jeux vidéo à succès Arkane.



78

MOLIÈRE

Il aurait 400 ans aujourd'hui, et bien des questions se posent encore à son sujet.



68

SHOPPING

Notre sélection des meilleurs objets high-tech du mois.



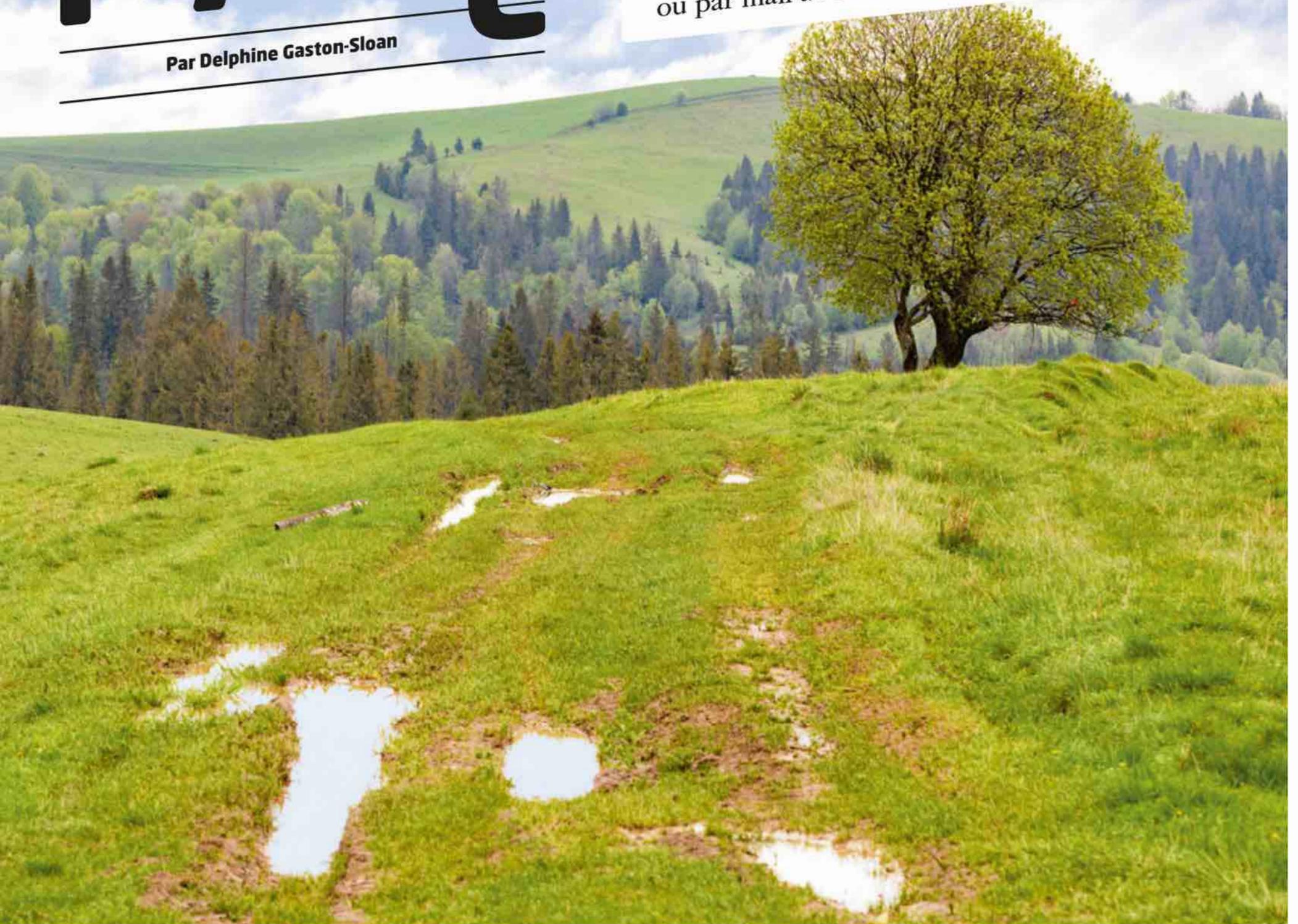
© Future Owns; Getty; Fotolia; Toopi Organics; Nicolas Gagnon; Wrightbus; Vincent Munier; DR; Shutterstock; SP

FAQ

Par Delphine Gaston-Sloan

Envoyez-nous
vos questions à :
**Comment
ça marche**

Fleurus Presse/Unique Heritage Media
141, boulevard Ney 75018 Paris
ou par mail à : ccm@fleuruspresse.com



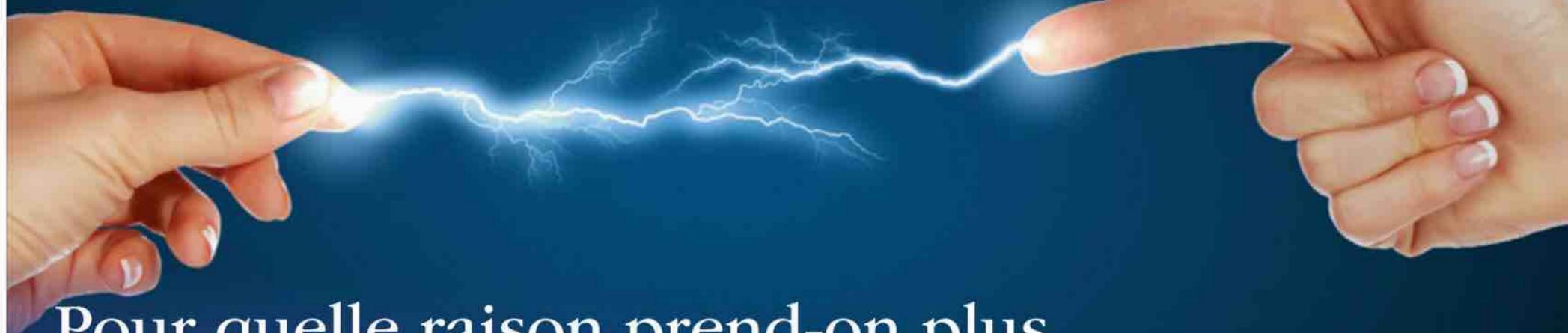
Comment se fait-il que la nature sente si bon après un orage?

Question de Monique B., Saint-Genis-Laval (Rhône)



La bonne odeur que l'on perçoit dehors après un orage n'est pas due à l'eau de pluie, elle-même inodore, mais au fait que ses gouttes, en frappant le sol, forment de petites bulles qui éclatent en se chargeant des senteurs de la terre, surtout après une période de chaleur et de sécheresse. Ce parfum si particulier provient de la décomposition de plantes, de champignons, de bactéries et de substances sécrétées par certaines espèces. Au nombre de celles-ci, un liquide huileux absorbé par les sols auquel les Australiens Isabel

Joy Bear, chimiste, et Roderick G. Thomas, minéralogiste, ont donné le nom de *petrichor* - devenu pétrichor en français - dans les années 1960. Un terme forgé à partir du grec *petra* (pierre) et *ikhor* (fluide, sang), l'ichor désignant chez Homère le sang des dieux dans la mythologie grecque. Le pétrichor se combine à la géosmine, une molécule très odorifère sécrétée par des bactéries, et ce sont ces composés volatils qui se répandent dans l'air sous forme de fines gouttelettes lorsque la pluie crée une sorte de boue en surface.



Pour quelle raison prend-on plus de « coups de jus » l'hiver que l'été?

Question de Corinne E., Thionville (Moselle)



On parle ici d'une légère décharge électrique sans danger, qui se produit lorsqu'on manie un objet ou que l'on touche une personne, et non pas d'une électrocution liée au dysfonctionnement d'un appareil. Cette « châtaigne » est due à l'électricité statique générée par le frottement ou contact de deux matériaux isolants (plastiques, fibres

synthétiques, laine, peau, cheveux, bois, verre...). L'un perd des électrons, ce qui lui confère une charge positive, tandis que l'autre en reçoit, rendant sa charge négative. La décharge se produit lors du passage d'électrons du milieu chargé négativement à celui chargé positivement. Elle est plus ou moins importante selon les saisons. En été, le mouvement ascendant de l'air chaud associé

à l'humidité favorise la circulation des électrons et leur permet de s'évacuer, alors que l'hiver, l'air froid et sec les retient et provoque l'accumulation des charges électriques. Dans ce cas, si l'on saisit par exemple une poignée de porte ou que l'on serre la main d'une personne, ces charges électriques stockées se libèrent brutalement et leur transfert donne lieu au fameux « coup de jus ».

© Shutterstock : Gile Michel / Sipa / Photomontage



Pourquoi appelle-t-on le petit dernier le « benjamin »?

Question de Jean-Ignace D., Versailles (Yvelines)



Ce mot tire son origine de la Bible. Dans l'Ancien Testament, Benjamin est le dernier des douze fils de Rachel et du patriarche Jacob. Son prénom, issu de l'hébreu *ben yamin*, signifie « fils de ma main droite ». La droite est associée à une valeur positive, à une perspective de chance et de bon augure. Benjamin est aussi le fils des vieux jours, d'où le sens de dernier-né. Ce terme affectueux s'accompagne souvent de la notion d'enfant préféré, celui qu'on a tendance à gâter plus que les autres, le « chouchou ». C'est ce que suggère cet épisode de la Genèse (premier livre de la Bible) rapportant que lors de la famine qui sévit dans le pays de Canaan, Jacob fit le choix de garder Benjamin près de lui alors qu'il envoyait ses autres fils en Égypte en quête de blé pour les nourrir. En devenant nom commun, benjamin s'est décliné au féminin. Lorsque le plus jeune d'une fratrie est une fille, on l'appelle la benjamine.

Quelle est la différence entre un fruit et un légume ?

Question de Marin T., Lille (Nord)

Q Pour le botaniste, le fruit est produit par une fleur. Il provient de la fécondation de son pistil, c'est-à-dire de ses organes reproducteurs femelles. Avant d'être destiné à la consommation, le fruit a pour fonction de protéger les graines, noyaux, pépins chargés de la reproduction de la plante en les enrobant. Le fait qu'il pousse ou non sur un arbre ne change pas la donne. Par légume, on désigne la partie comestible de plantes potagères dont les formes sont multiples, sans que cela réponde à une définition scientifique aussi précise. Ainsi, il peut s'agir de

feuilles (salade, chou...), de racines ou tubercules (carotte, pomme de terre...), de bulbes (oignon, ail...), de tiges (asperge, poireau...), de graines (pois chiches, lentilles...), de fleurs (artichaut, brocoli...). Le doute vient souvent de ce que l'on se fonde sur la saveur salée ou sucrée - le salé étant communément associé au légume, le sucré au fruit. Sans compter que le cuisinier accommode comme des légumes nombre de fruits : avocats, tomates, concombres, olives... et même haricots verts. Dits légumes-fruits pour ajouter à la confusion !



D'où vient la tradition de mettre une fève dans la galette des rois ?

Question d'Élise B., Montargis (Loiret)



Cette tradition vient des Saturnales, des fêtes qu'organisaient les Romains en l'honneur de Saturne, dieu de l'Agriculture, au moment du solstice d'hiver (du 17 au 23 décembre). Au cours de ces festins, maîtres et esclaves partageaient la même table ainsi que des gâteaux dans lesquels on avait glissé une fève. Cette graine de forme plate était facile à dissimuler. Pas trop petite, elle ne risquait pas d'être avalée. Symbole de fécondité, elle est aussi le premier légume à pousser au printemps. Celui qui la trouvait, quel que soit son statut, devenait le roi du jour. La galette des rois célébrant l'Épiphanie (le 6 janvier) remonte au XIV^e siècle. L'Église catholique reprend alors cette tradition antique pour fêter les Rois mages venus à Bethléem adorer l'enfant Jésus. La légumineuse a été remplacée par une fève en porcelaine de Saxe vers 1875, puis en porcelaine de Limoges au lendemain de la guerre de 1914-1918. De nos jours, elle est le plus souvent en céramique, voire en plastique. Objet de collection, elle donne lieu à une pratique nommée fabophilie, du latin *faba*, fève.

LE MAG QUI DÉCRYPTE LE MONDE

à partir de
45 €
par an



JE M'ABONNE

11 numéros - 1 an

45 €
49,50 € - 9%

POURQUOI S'ABONNER ?

- Tarif avantageux
- Livraison gratuite en France
- Je peux changer de formule
- Accès gratuit à la version numérique dans votre espace client

**ABONNEZ-VOUS
SIMPLEMENT
SUR INTERNET**

FLEURUSPRESSE.COM

AVEC VOTRE CODE PROMO

CCM22

OU

PAR TÉLÉPHONE
01 87 64 05 32

Du lundi au vendredi de 9 h à 19 h.

**OU PAR COURRIER
À RETOURNER ACCOMPAGNÉ DE VOTRE RÈGLEMENT :**

CDN VIVETIC - SERVICE FLEURUS PRESSE
TSA 10017 - 93539 AUBERVILLIERS CEDEX
Tél. : 01 87 64 05 32 (appel non surtaxé)

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

Téléphone :

E-mail (parents) :

E-mail indispensable pour accéder à la version numérique de votre abonnement.

Merci de joindre votre règlement par chèque bancaire ou postal à l'ordre de Unique Heritage Presse

**DATE ET SIGNATURE
OBLIGATOIRES**

Actualités[®]

des

sciences

Nature

Techno

Histoire

Espace

Science

Par Louna Esgueva,
Corentin Paillassard
et Maïa Wasserman

ASTRONOMIE

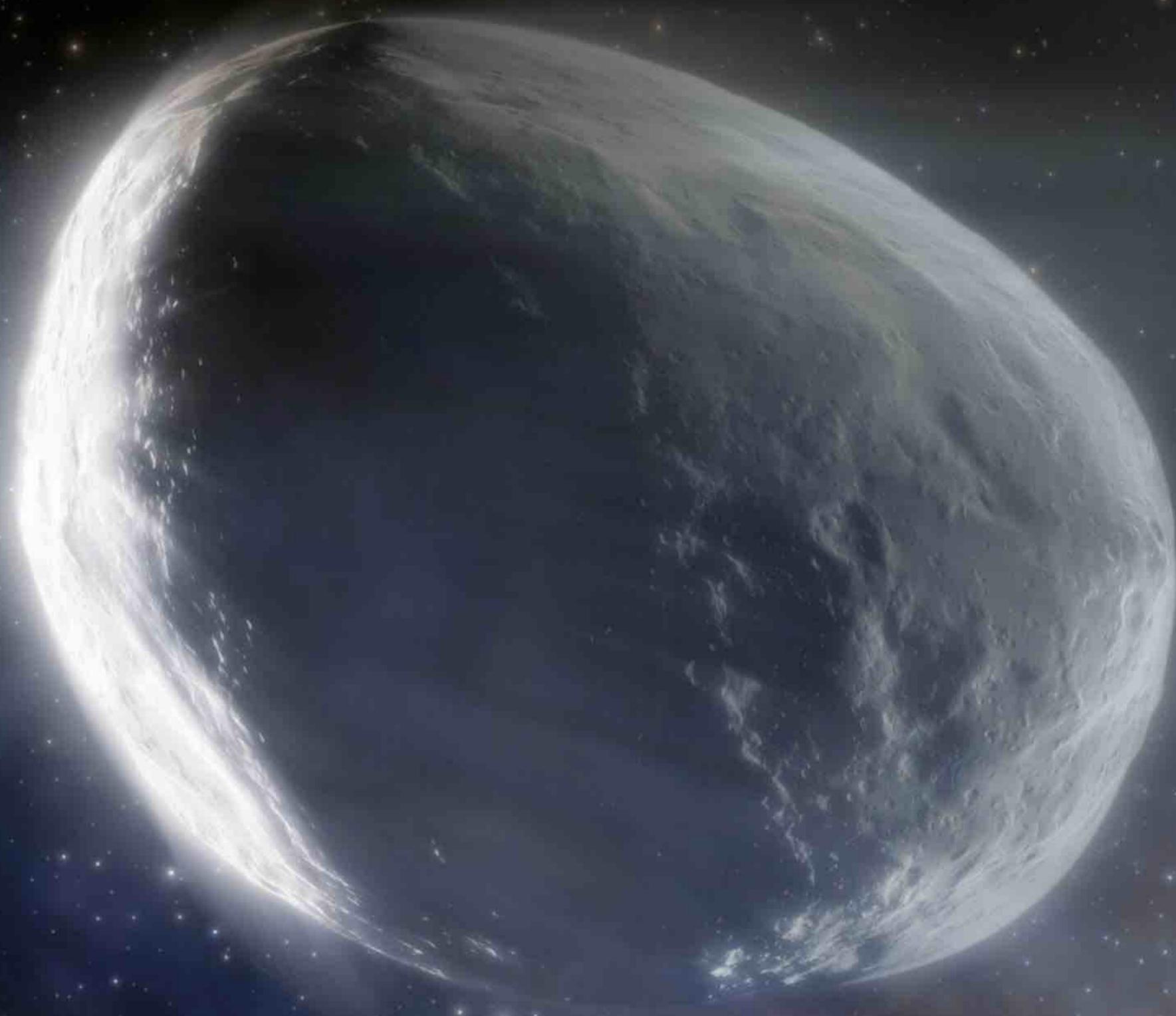
La plus grande comète jamais détectée vogue vers le Système solaire

A vos agendas! Dans neuf ans, le 21 janvier 2031, un mastodonte de 100 km de diamètre, soit mille fois plus qu'une comète classique, entrera dans le Système solaire. Point de risque de voir se profiler un Armageddon sonnante le glas de la Terre, mais une curiosité à ne pas manquer pour tous les astronomes, y compris les amateurs dotés d'un télescope. Baptisée Bernardinelli-Bernstein, du nom du binôme de chercheurs qui l'a repérée en octobre 2014, à l'université de Pennsylvanie (États-Unis), la comète se présentait alors sous la forme d'un simple point lumineux capturé par l'Observatoire interaméricain du Cerro Tololo, au Chili. Une apparition qui aurait pu passer inaperçue car l'objectif de cette observation, menée entre 2013 et 2019, était d'étudier l'expansion de l'Univers en collectant des images des 300 millions de galaxies dans le ciel austral, et non de pister des corps célestes inconnus.

C'est en analysant ces milliers d'images prises au-delà de Neptune que les deux chercheurs ont découvert 817 objets nouveaux, dont cette

gigantesque comète. Après sept ans d'étude, celle-ci a été présentée à la communauté scientifique en octobre dernier. Le temps pour les chercheurs de découvrir que la comète se déplaçait à vive allure dans le nuage de Oort, un vaste dépotoir de roches glacées situé à 20000 unités astronomiques (une UA correspond à environ 150 millions de kilomètres). Ils ont également modélisé la trajectoire de la comète, ce qui leur a permis de constater que la géante s'était déjà approchée à 18 UA du Système solaire, il y a 3,55 millions d'années.

Pour son prochain passage, la comète s'avancera à 10,97 UA de notre astre, soit à l'extérieur de l'orbite de Saturne. Pour certains scientifiques, c'est là une occasion unique d'envoyer une sonde pour analyser la composition chimique de cet objet et ainsi appréhender un peu mieux les premiers jours du Système solaire, la composition des comètes restant assez stable dans le temps. Une bonne idée, à condition d'envoyer la sonde avant 2029, pour qu'elle intercepte la comète avant sa sortie du Système solaire.



**Les astronomes
imaginent déjà
envoyer une sonde
pour analyser
la géante glacée
lors de son passage,
à l'horizon 2031**

INFORMATIQUE

Bienvenue dans l'ère
du stockage XXL

Stocker l'équivalent de 500 téraoctets (To) de données – soit 10 000 fois plus que sur un DVD Blu-ray classique – sur un objet en verre de silice de la taille d'un CD. Mieux : s'assurer que ce contenu pourra rester lisible plusieurs milliards d'années et sera capable de supporter des températures allant jusqu'à 1 000 degrés ! Tel est l'exploit qui vient d'être réalisé par une équipe de chercheurs de l'université de Southampton (Royaume-Uni) qui a mis au point une nouvelle méthode de gravure à l'aide d'un laser. « Les systèmes basés sur le *cloud* sont davantage conçus pour conserver des données temporaires ; le stockage de données dans du verre pourra nous être utile à long terme pour les archives nationales, les musées, les bibliothèques ou les organisations privées », commente Yuhao Lei, l'un des auteurs de l'étude. Prochaine étape : progresser en termes de vitesse d'écriture, car il faut environ soixante jours pour graver 500 To de données. Et, surtout, rendre la technique utilisable hors des laboratoires...



Ce minuscule carré de verre de silice permet déjà de stocker 5 Go de données.

© Yuhao Lei and Peter G. Kazansky, University of Southampton; Lida Xing; Nasa

Yeux, pattes, pinces se distinguent parfaitement malgré la petite taille du crustacé : 5 mm à peine.



PALÉONTOLOGIE

Ce crabe piégé dans l'ambre a fréquenté les dinosaures

L'ambre est le matériau favori des paléontologues. Et pour cause : cette résine végétale emprisonne les animaux dans sa texture gluante qui finit par se figer, devenant au fil du temps ce matériau orangé et translucide bien connu. C'est ainsi le fossile par excellence, qui permet de retrouver et d'étudier des espèces d'une époque lointaine.

L'un des derniers exemples en date est la découverte de ce crabe contemporain de l'époque des dinosaures, le Crétacé. Analysé par une équipe internationale, il serait vieux d'environ 100 millions d'années ! Un exemple de crustacé rare, voire unique, en

termes de qualité de conservation car jusqu'ici, l'essentiel des animaux retrouvés dans de l'ambre étaient des insectes. Mais alors, comment un crabe marin a-t-il pu être emprisonné dans de la sève d'arbre ? « Chaque fossile que nous découvrons remet en question nos idées préconçues sur l'époque et le lieu d'origine de plusieurs organismes, ce qui nous fait souvent remonter plus loin dans le temps », commente Javier Luque, chercheur à l'université Harvard (États-Unis) et auteur principal de l'étude. En l'occurrence, le cas de ce crabe questionne : aurait-il été plus terrestre que ce que l'on imagine ?



Notre planète réfléchit un demi-watt de lumière solaire en moins par mètre carré qu'il y a vingt ans

CLIMATOLOGIE

La Terre brille moins à mesure qu'elle se réchauffe

La Terre réfléchit de moins en moins la lumière solaire : telle est la conclusion d'une étude parue dans la revue américaine *Geophysical Research Letters* en août 2021. Les équipes américaines et espagnoles qui en sont à l'origine ont étudié la « lumière cendrée » (*Earthshine* en anglais), c'est-à-dire la lumière réfléchie par la Terre sur son satellite, notamment pendant la nouvelle lune, quand le Soleil n'éclaire pas cette dernière. Cela leur a permis de calculer la réflectance, à savoir la capacité de notre planète à renvoyer la lumière solaire. Ils ont alors constaté que cette aptitude avait diminué de 0,5 % au cours des vingt dernières années, en particulier

les plus récentes (2015-2017). Une valeur non négligeable, étant donné que notre planète réfléchit environ 30 % de la lumière solaire.

La raison de cette baisse serait à chercher, une fois de plus, du côté du changement climatique, l'activité du Soleil n'étant pas corrélée à cette variation. En analysant des données satellites, les scientifiques ont observé une réduction du nombre de nuages de basse altitude, brillants et réfléchissants, sur l'est de l'océan Pacifique. Cette raréfaction pourrait être liée à l'augmentation de la température de l'eau mesurée dans la zone. Or, une diminution de la lumière réfléchie signifie que la Terre absorbe davantage

d'énergie solaire, ce qui contribuerait au réchauffement de la planète.

Si ce demi-watt par mètre carré renvoyé de moins peut paraître dérisoire par rapport à la centaine réfléchie au total par la Terre, il met toutefois en évidence l'existence d'un cercle vicieux. En effet, un réchauffement de la température globale dû à cette absorption moindre diminuerait le nombre de nuages réflecteurs, menant *in fine* à plus de réchauffement... Certains scientifiques espéraient un effet inverse, avec un réchauffement qui amènerait plus de nuages, mais ces travaux, qui restent à confirmer par de nouvelles études, semblent bien pour le moment indiquer le contraire.

PLANÉTOLOGIE

Jupiter se dévoile encore un peu plus

La plus grosse planète du Système solaire n'a pas encore montré toutes ses facettes. À partir des derniers relevés de la sonde spatiale *Juno*, en orbite autour de la géante gazeuse depuis juillet 2016, les astronomes de la Nasa viennent pour la première fois de saisir - en détail - la structure de son atmosphère. En particulier, ils ont pu avoir une image plus précise des nuages et zones de cyclones qui s'avèrent chauds en haut avec des densités plus faibles, et inversement plus froids en bas avec des densités plus élevées. En étudiant tous les relevés, ils ont également découvert que la fameuse Grande Tache rouge, large de plus de 15 000 km, s'étendrait - sous les nuages de la couche supérieure de l'atmosphère - sur une profondeur de 300 km avec une incertitude de 100 km. « Maintenant, nous commençons à assembler toutes les pièces individuelles du puzzle et à obtenir une véritable compréhension en 3D du fonctionnement de la belle et violente atmosphère de cette planète », commente Scott Bolton, du Southwest Research Institute de San Antonio (États-Unis).

La sonde *Juno* a permis de détailler la structure de l'atmosphère de la géante gazeuse



ÉTÉ VENDU AUX ENCHÈRES À PARIS;
CONSERVATION (60% DES OS).

Les cinq étages du bâtiment sont cinq zones climatiques définies afin de conserver au mieux les œuvres en fonction des matériaux qui les composent.



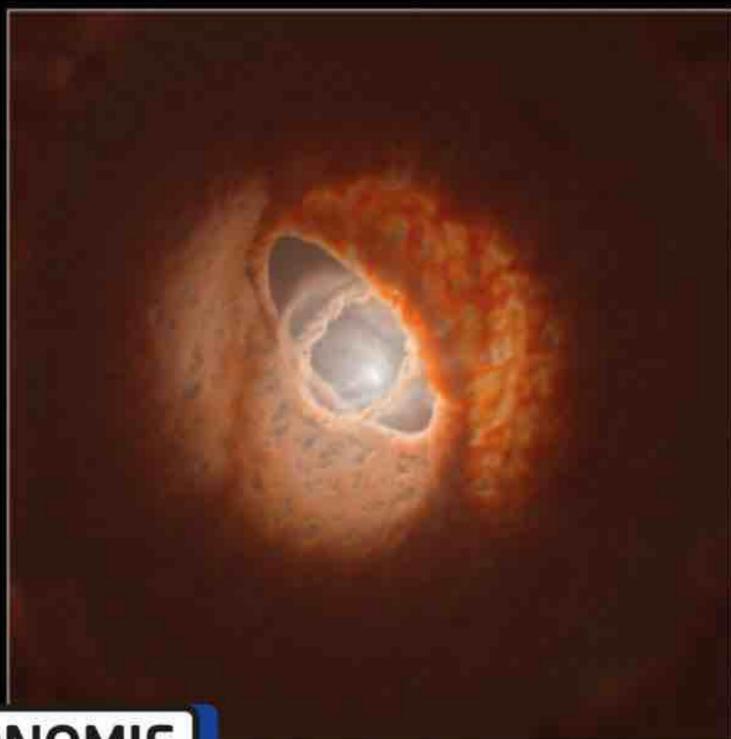
ARCHITECTURE

Une arche de Noé artistique a ouvert ses portes à Rotterdam

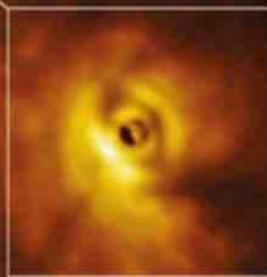
De loin, cette structure à la forme d'un bol-miroir surdimensionné pourrait être une « simple » œuvre d'art. Situé à Rotterdam (Pays-Bas), il s'agit en réalité du nouveau dépôt du musée Boijmans Van Beuningen qui vient d'ouvrir ses portes après dix ans de travaux. Il renferme toutes les réserves (jusqu'ici non exposées) du

musée. Comme le lieu est susceptible d'être inondé en raison de son emplacement vulnérable, il a été décidé de tout stocker en hauteur, sur cinq étages, et non dans une cave. Au total, ce sont donc 151 000 œuvres (de la fin du Moyen Âge à nos jours) qui doivent trouver leur place à l'intérieur. Pour y parvenir, le cabinet d'architecture

MVRDV a opté pour une forme circulaire et haute (39,5 m) dont l'empreinte au sol n'est pas trop importante et qui offre une large capacité de rangement. Enfin, pour que l'intégration soit la plus réussie possible, la façade de 6 609 m² a été recouverte de verres réfléchissants qui renvoient l'image du paysage environnant. Esthétique et ingénieux !



ASTRONOMIE



À droite, l'image de GW Orionis capturée par le radiotélescope Alma, au Chili; à gauche, une vue d'artiste du disque déformé.

Un système à trois soleils pourrait héberger une planète

Ce n'est pas une, ni deux, mais bien trois étoiles qui forment l'objet céleste GW Orionis, à 1 300 années-lumière de la Terre. Celui-ci est constitué d'un système binaire, deux étoiles très proches l'une de l'autre (à 1 unité astronomique, soit la distance Terre-Soleil, environ 150 millions de kilomètres) qui orbitent autour du même centre de gravité, et d'un troisième astre plus éloigné (à 8 UA des deux autres). Vieux d'un million d'années, ce système

est entouré d'un disque de gaz et de poussières, pouvant donner naissance aux planètes entourant les étoiles.

En 2020, une équipe internationale a montré que ce disque était déformé et déchiré. Une première qui en fait un objet d'étude privilégié. On sait aujourd'hui que ce disque est en fait divisé en trois anneaux, éloignés les uns des autres et dont certains sont inclinés par rapport au plan des étoiles. Mais quelle est la cause de ces déformations?

Si l'hypothèse de l'effet gravitationnel des étoiles a été avancée dès 2020, une équipe internationale de scientifiques vient d'en proposer une nouvelle. D'après leurs modélisations, ces déformations seraient dues à une ou plusieurs planètes qui, par leur présence et leur gravité, sépareraient les anneaux. Or, l'existence de planètes autour d'un système à trois étoiles était inédite! De nouvelles observations pourraient permettre de préciser cette hypothèse.



ERREUR MÉDICALE

En se rendant aux urgences pour des douleurs thoraciques, un Américain de 56 ans a appris qu'un morceau de ciment long de 10 cm se trouvait dans son cœur! Ce corps étranger résultait de l'injection, une semaine plus tôt, d'un type de ciment spécial dans une de ses vertèbres. À la suite d'une complication, le ciment avait migré dans le cœur où il s'était figé.

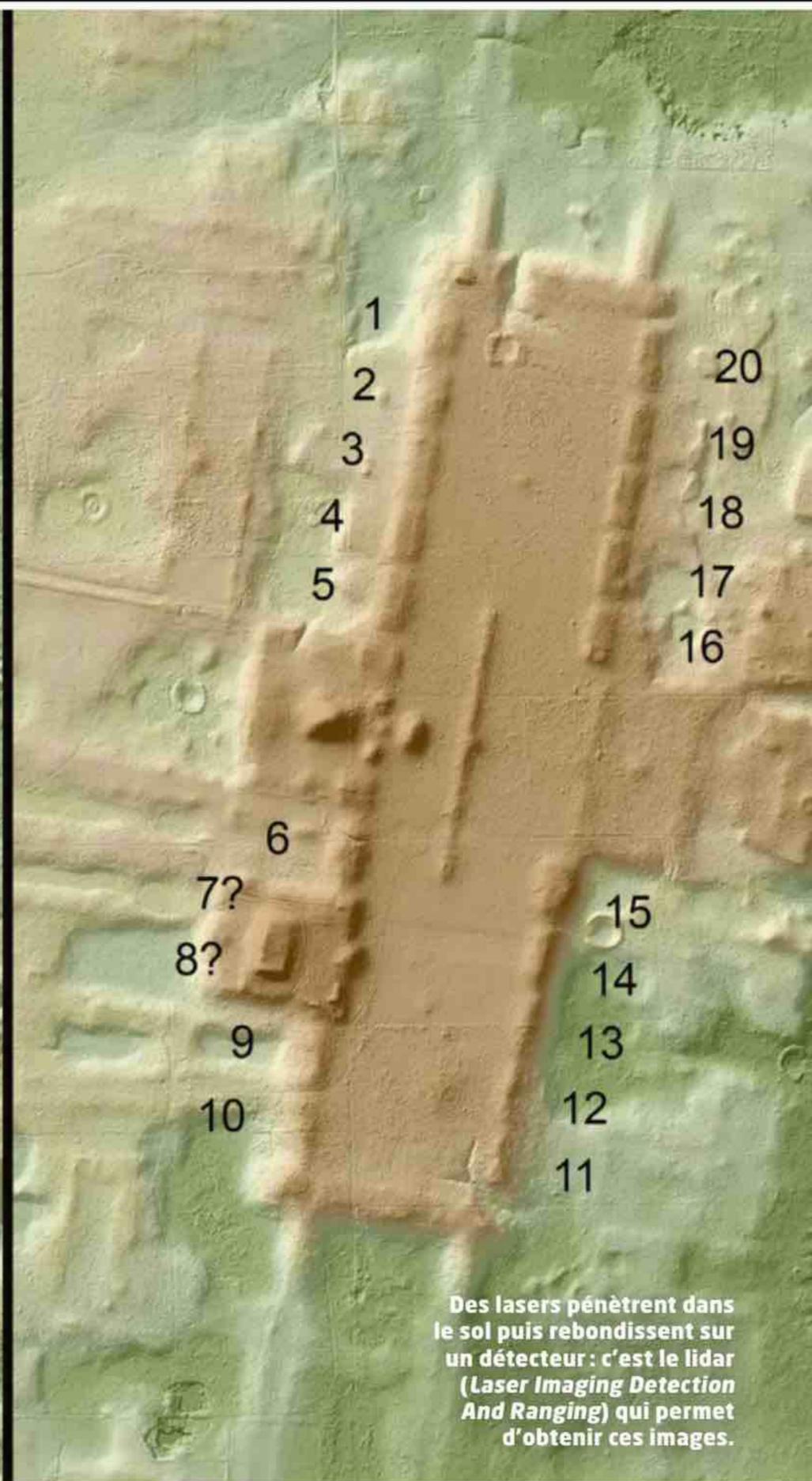
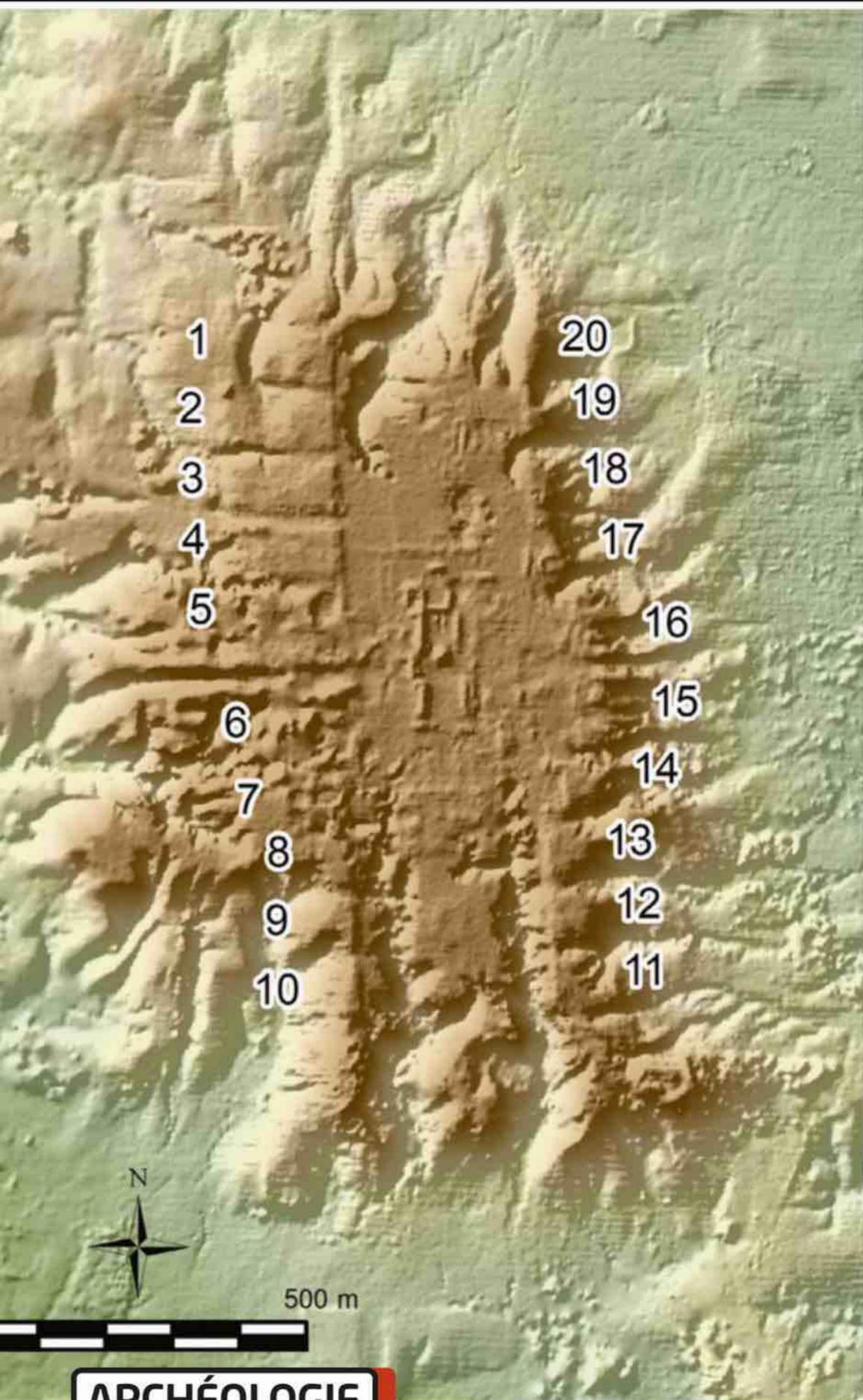
ZOOLOGIE

Mortel combat

● Des gardes forestiers canadiens ont découvert le corps sans vie d'une femelle grizzly de 70 kg sur un chemin de randonnée. L'animal semblait avoir été poignardé au cou et à l'aisselle. Après avoir autopsié la dépouille, les spécialistes ont finalement découvert que le meurtrier n'était autre qu'une chèvre de montagne qui, probablement attaquée par l'ursidé, avait riposté par un coup de cornes... fatal!



La chèvre de montagne peut peser jusqu'à 125 kg, et ses cornes mesurer 30 cm de long!



Des lasers pénètrent dans le sol puis rebondissent sur un détecteur : c'est le lidar (Laser Imaging Detection And Ranging) qui permet d'obtenir ces images.

ARCHÉOLOGIE

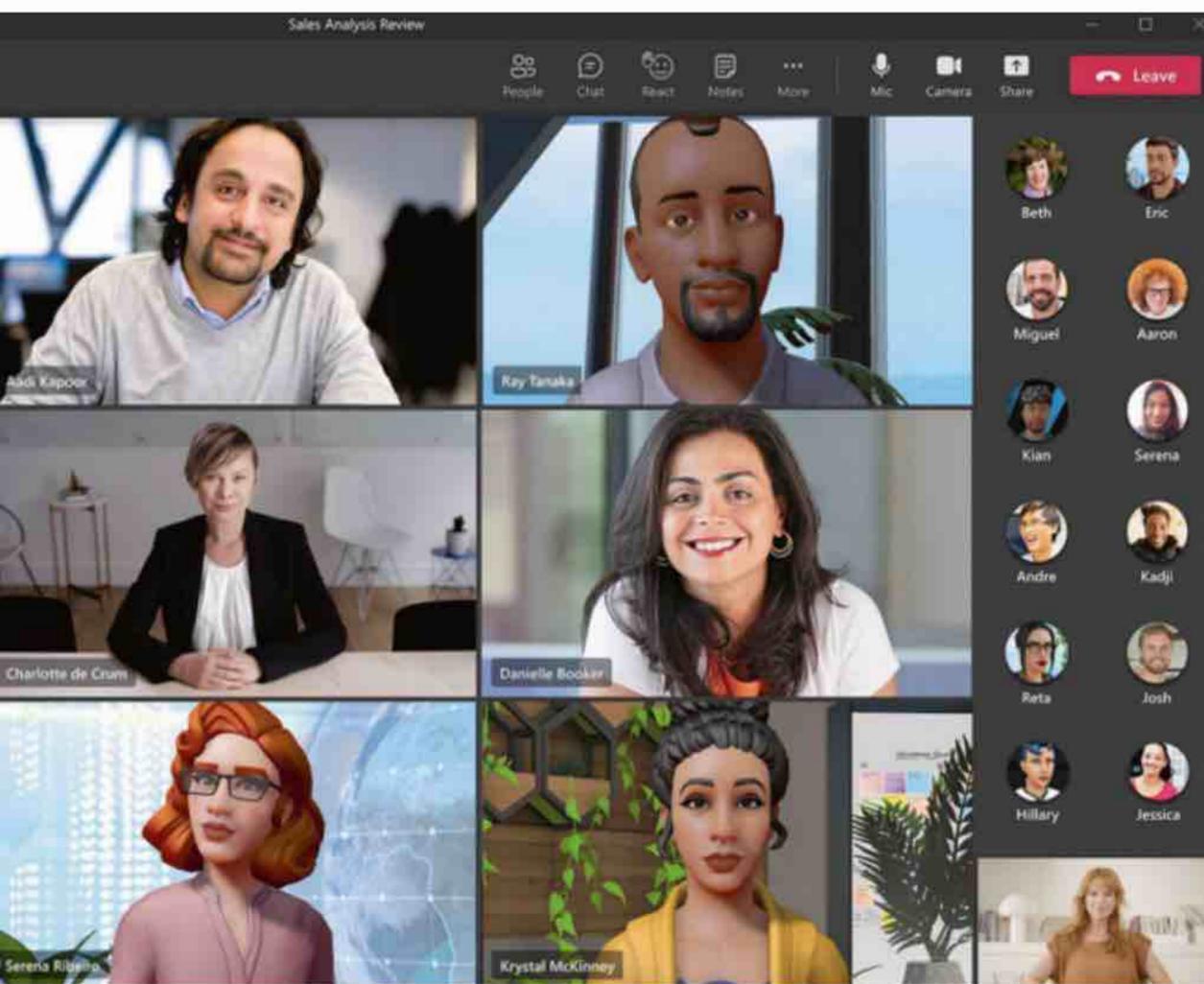
De nouveaux sites mayas et olmèques passent sous le radar

Pas moins de 478 nouveaux sites mésoaméricains viennent tout juste d'être détectés au sud du Mexique, dans l'État de Tabasco. Cachés par la végétation et recouverts par des constructions récentes, ils ont pu être mis en évidence grâce à une technologie lidar (voir légende) qui a fait apparaître des carrés et des rectangles sur le sol.

Ces marques seraient des restes de sites cérémoniels dont la construction remonterait approximativement à 1400 av. J.-C. et qui auraient appartenu aux civilisations mayas et olmèques.

« Notre étude montre que les peuples de ces régions partageaient des configurations de constructions similaires et probablement des pratiques rituelles », explique Takeshi Inomata, de

l'université d'Arizona (États-Unis), auteur principal de l'étude. Un autre enseignement de ces travaux concerne l'architecture : « Bien que les chercheurs aient longtemps considéré que les hautes pyramides étaient les caractéristiques principales des civilisations mésoaméricaines, nos découvertes montrent que de grandes constructions horizontales les auraient précédées », poursuit-il.



INTERNET

Microsoft présente son métavers professionnel

Métavers: c'est le nouveau mot à la mode des entreprises du numérique. Il s'agit en fait de la contraction des mots «méta» et «univers» pour désigner des projets de réalité virtuelle, accessibles via un casque. À terme, l'idée est de pouvoir proposer aux internautes de se balader sur Internet, dans des environnements en 3D, sous la forme d'avatars (personnages animés). Un peu comme dans les jeux vidéo, mais ici en version améliorée. Après Facebook, l'été dernier, qui a largement communiqué autour de cet objectif, c'est au tour de Microsoft de présenter son propre projet de métavers. Intitulé «Mesh», il s'agit d'un programme qui permettra de rendre nos visioconférences plus immersives. Au lieu d'être représenté par une vidéo en vignette, chaque participant pourra se doter de son avatar qui mimera le comportement et la voix de la personne représentée. Pour l'instant, le programme en est encore au stade du développement, mais Microsoft espère le déployer dans les prochains mois.

ZOOLOGIE

Attention, fourmis très coupantes!

● Si l'on savait que les fourmis coupeuses de feuilles (de l'espèce *Atta cephalotes*) étaient dotées de dents bien tranchantes, on ignorait encore ce qui donnait à leurs crocs une telle efficacité. En étudiant, à l'aide d'un microscope à faisceau ionique, la denture de ces insectes, des biophysiciens de l'université de l'Oregon (États-Unis) ont découvert la présence d'un réseau d'atomes de zinc dans leur mâchoire. Agencés de manière particulière, ces atomes métalliques confèrent aux dents la dureté de l'acier inoxydable et les maintiennent aiguisées comme des lames de rasoir. Des dents aussi efficaces que des couteaux à steak pour des fourmis pourtant végétariennes!

Une combinaison d'atomes de zinc rend les crocs d'*Atta cephalotes* durs comme de l'acier.



SOLAIRE MAJEURE POURRAIT PLUSIEURS MOIS.

En juillet 2017, un énorme bloc de glace de 5 800 km² (la taille des Vosges) s'est détaché de la plateforme Larsen C, en Antarctique.

Un mélange de neige, de débris et d'eau de mer gelée colmate les failles à l'origine des icebergs

GLACIOLOGIE

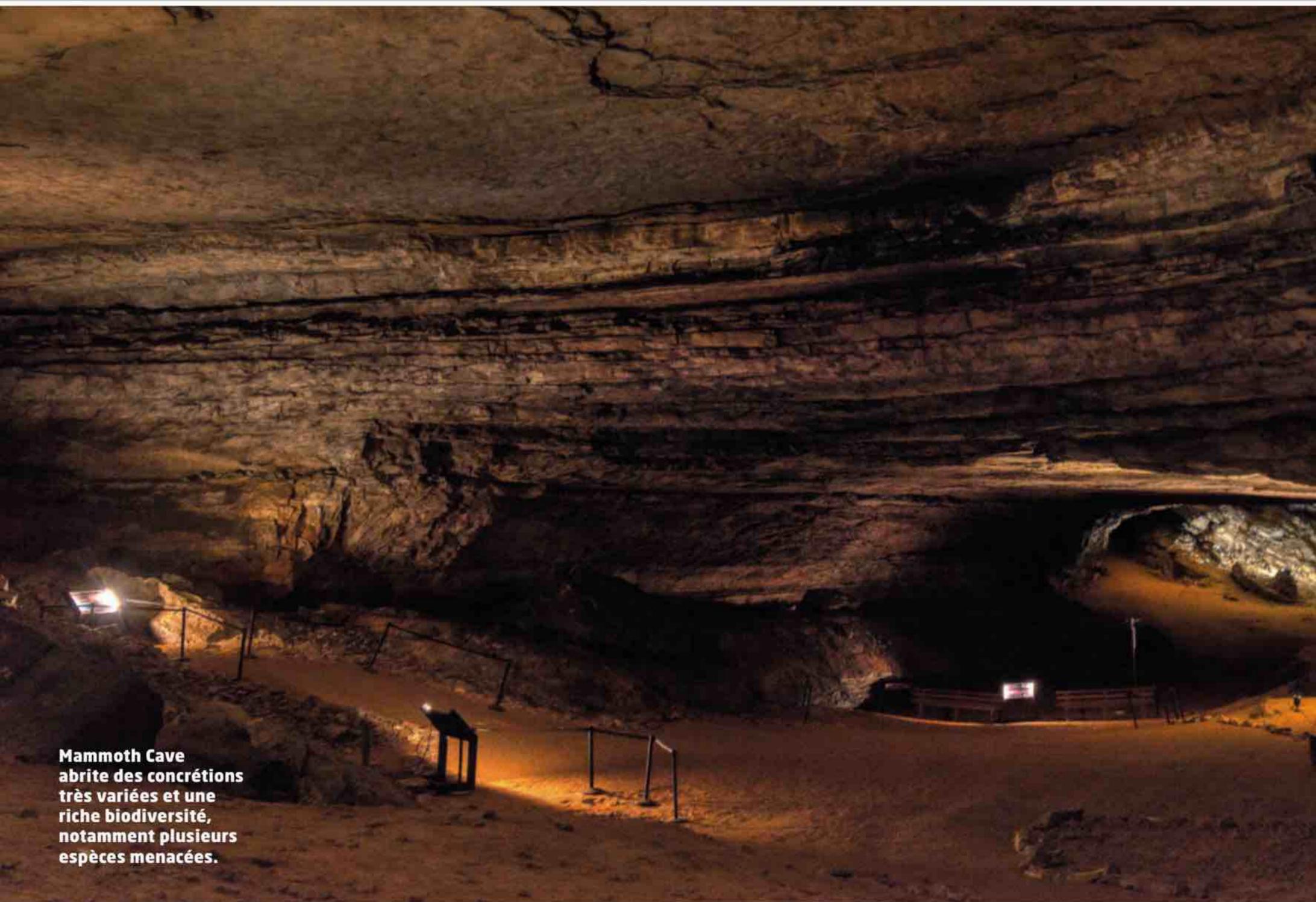
Les icebergs se détachent en se « décollant »

Comment un iceberg se détache-t-il de la banquise en Antarctique ? Bien que le phénomène ne soit pas rare, les scientifiques s'efforcent encore aujourd'hui d'en percer les mécanismes. Alors quand, en juillet 2017, A-68, un gigantesque iceberg d'une surface de 5 800 km², s'est détaché de la plateforme de glace (morceau de banquise issu d'un glacier qui rejoint la mer) Larsen C, en Antarctique, il a été scruté par les chercheurs. Jusque-là, une théorie populaire pour expliquer ce type de phénomène rendait responsable l'hydrofracture (ou cryoclastie), c'est-à-dire l'infiltration d'eau issue de la fonte des glaces dans des fissures qui, au fil du temps, les

agrandit en gelant à l'intérieur. Mais pour A-68, né en plein hiver austral et sans fonte importante, cette théorie prend l'eau...

Une équipe de l'université de Californie (États-Unis) a modélisé la plateforme de glace et les fissures qui ont donné naissance à l'iceberg, en s'appuyant notamment sur des données satellites. Les résultats, publiés début octobre dans le journal américain *Proceedings of the National Academy of Sciences*, mettent en avant le rôle déterminant du « *ice mélange* », une combinaison hétérogène de neige, de débris d'icebergs et d'eau de mer gelée. Cette mixture vient habituellement colmater les failles et fractures qui apparaissent dans la glace, ralentissant le processus

de séparation de l'iceberg avec le glacier. Dans leur modélisation, les scientifiques ont testé ce qui se passait si cette couche rétrécissait, en comparaison avec le scénario où l'épaisseur de la banquise diminuait. Le résultat est surprenant : si l'épaisseur de la banquise diminue, cela a tendance à résorber les failles, alors que si la couche de mélange rétrécit, c'est là que les fractures peuvent s'aggraver. Ce phénomène expliquerait pourquoi certains icebergs se sont détachés bien plus vite que prévu. Pis, le changement climatique accentuerait la disparition des glaces de l'Antarctique car en réchauffant l'atmosphère, il rétrécit les couches de mélange.



Mammoth Cave
abrite des concrétions
très variées et une
riche biodiversité,
notamment plusieurs
espèces menacées.

MÉDECINE

Le plus puissant IRM du monde a livré ses premières images

En septembre dernier, un monstre de la physique a fait parler de lui. Il s'agit du plus gros aimant au monde, doté d'un champ magnétique de 11,7 teslas. Installé à Saclay (Essonne), sur un site du CEA, il a été conçu pour réaliser de l'imagerie médicale de pointe. À titre de comparaison, quand on passe une IRM (imagerie par résonance magnétique) classique, l'aimant atteint généralement 1 à 3 teslas. Cet outil va donc permettre de sonder la matière avec un degré de finesse inédit et une résolution de quelques centaines de micromètres. Pour l'instant, c'est un potimarron qui a servi de cobaye car cette

cucurbitacée possède plusieurs couches et textures à explorer! Mais demain, cet aimant deviendra un outil de recherche fondamentale: il permettra notamment de se pencher sur les pathologies cérébrales.

«Grâce à cet IRM extraordinaire, nos chercheurs ont hâte de pouvoir étudier plus finement l'organisation anatomique et structurelle du cerveau. Ces travaux permettront sans doute des applications cliniques majeures», a commenté Stanislas Dehaene, directeur de la plateforme Neurospin contenant le projet. Dans les toutes prochaines années, on devrait donc entendre parler d'Iseult, le joli petit nom donné à cet aimant...



GÉOLOGIE

La grotte de tous les records en explose encore un

● Mieux vaut ne pas se perdre dans le parc national de Mammoth Cave, dans le Kentucky (États-Unis). Inscrit dans le *Livre des records* depuis 1969, ce parc abrite le plus grand réseau de cavernes et de galeries souterraines au monde. Mais voilà qu'une nouvelle mesure, réalisée par des bénévoles (notamment ceux de la Cave Research Foundation), vient de révéler que la grotte était plus longue de 13 km par rapport aux dernières mesures. Ce qui porte sa longueur totale à 676 km ! Des centaines de kilomètres où vivent une faune et une flore cavernicoles parmi les plus riches du monde avec plus de 130 espèces. Les spéléologues amateurs peuvent ainsi y croiser huit espèces de chauves-souris, une espèce de crevette, un poisson et quelques salamandres troglodytes.

Les roches rapportées par la sonde chinoise *Chang'e 5* constituent les plus jeunes fragments de lave jamais identifiés sur la Lune.



ASTRONOMIE

De nouvelles analyses sèment le doute sur l'histoire de la Lune

L'événement est symboliquement fort... Quarante-cinq ans après les dernières missions américaines et russes qui avaient permis de rapporter des échantillons lunaires, la mission chinoise *Chang'e 5* vient d'analyser 1,7 kg de nouveaux morceaux de cailloux, collectés en décembre 2020. Ces fragments, prélevés dans une région appelée «l'océan des Tempêtes», à l'ouest de la face visible de la Lune, seraient datés d'environ 2 milliards d'années. Ils révèlent la présence de laves vieilles de 1,97 milliard d'années, soit un milliard d'années de moins que les précédentes estimations faites sur la Lune. Une découverte qui indique que l'activité volcanique sur notre satellite naturel aurait duré bien plus longtemps que ce que les spécialistes imaginaient jusque-là. Or, pour que des éruptions provoquent des coulées de lave, il faut que l'intérieur du corps céleste soit resté suffisamment chaud et ait produit de la matière en fusion. Des conditions qui ne correspondent pas du tout au scénario et aux échelles de temps avancés jusqu'ici par les chercheurs... Les secrets de l'évolution de la Lune depuis sa formation, il y a 4,5 milliards d'années, sont encore loin d'être tous dévoilés.

Les images de l'insolite patient - un potimarron - obtenues grâce à cet aimant hors norme ont une résolution de 400 micromètres.



© Getty / F. Rhodes / CEA - CEA; Shutterstock

5 choses à savoir sur L'€URO

Certains se souviennent sans doute du changement de monnaie au 1^{er} janvier 2002, quand il a fallu recalculer chaque prix... Vingt ans déjà, un anniversaire prétexte à mieux faire connaître cet instrument du quotidien utilisé par 341 millions de personnes.

Par Delphine Gaston-Sloan

1

Il a connu un précédent sous Napoléon III

Le 23 décembre 1865, à l'initiative de Napoléon III (1808-1873) débute la première tentative d'union monétaire avec la Belgique, l'Italie et la Suisse. Chaque pays garde sa monnaie nationale, mais toutes ont la même valeur et peuvent s'échanger dans les pays signataires de la convention. En 1868, la Grèce rejoint cette « Union latine ». Si la Grande-Bretagne et l'Allemagne boudent l'accord, il en séduit d'autres comme l'Espagne, la Finlande, le Brésil... Soumise à trop d'instabilité, notamment au gré de découvertes de gisements d'or ou de mines d'argent (composants des pièces) et victime de la Première Guerre mondiale, l'Union est dissoute en 1927.

2

La France voulait l'appeler l'écu

Avant l'euro, il y a eu l'ECU (*European Currency Unit*), réservé aux transactions financières et commerciales entre États membres (1979). En 1995, la France aurait voulu que ces initiales – proposées par l'ancien président de la République Valéry Giscard d'Estaing (1926-2020) – soient transformées en nom pour baptiser la nouvelle monnaie européenne. Après de longues négociations, c'est finalement l'euro qui l'a emporté. L'écu rappelait trop aux Allemands une ancienne monnaie française du Moyen Âge. Ce n'est cependant pas l'argument qu'a avancé le chancelier Helmut Kohl (1930-2017): «*ein Ecu*» en allemand aurait été trop proche de «*eine Kuh*» (une vache)!



Chronologie

1972

Un dispositif nommé le Serpent monétaire européen est créé pour limiter les fluctuations du taux de change entre pays de la Communauté économique européenne.

1979

Le Système monétaire européen remplace le Serpent monétaire et introduit une unité monétaire, l'ECU.

1992

À Maastricht (Pays-Bas), est signé le traité sur l'Union européenne, lançant notamment l'Union économique et monétaire.

1993

Naît le marché unique européen, consacrant la libre circulation des biens, des services, des personnes et des capitaux.

1995

Le Conseil européen, réuni à Madrid, décide du nom de la future monnaie: c'est l'euro qui est choisi.

3
Non, l'euro n'a pas fait monter les prix

L'inflation a même régressé en général depuis sa mise en circulation. De 2,1% en moyenne par an entre 1986 et 2001, elle est passée à 1,4% de 2002 à 2016. Cette idée reçue, bien ancrée dans les esprits de ceux qui ont connu le franc, vient sans doute pour partie de la baguette de pain. Les gens pensent se souvenir qu'elle ne valait que 1 franc et sont affolés de constater qu'elle coûte aujourd'hui en moyenne 1 euro, soit 6,55957 francs. En réalité, son prix était de 4,30 francs en 2001 (soit 0,66 euro) et n'a connu, selon l'Insee, qu'une hausse moyenne de 1,9% par an entre 2001 et 2016, inférieure aux 2,5% de la décennie ayant précédé l'euro.

4
Les pièces de 1 et 2 centimes pourraient disparaître

Ces pièces reviennent plus cher à produire que leur valeur faciale. L'Irlande a établi en 2015 que la fabrication d'une pièce de 1 centime en coûtait 1,65; celle de 2 centimes, 1,94. Selon la Commission, entre 2002 et 2013, leur fabrication aurait entraîné pour l'Union européenne un surcoût de 1,4 milliard d'euros par rapport à leur valeur faciale. D'où la réflexion sur leur suppression, déjà effective en Belgique, en Italie, en Irlande, en Finlande et aux Pays-Bas. Les adversaires à sa disparition, la France notamment, font valoir qu'elle entraînerait des augmentations de prix en arrondissant aux 5 centimes supérieurs. Et certains organismes risqueraient d'en pâtir, telle la Fondation des Hôpitaux, qui récupère des sommes importantes via son opération Pièces jaunes.

5
Au Kosovo, on paye en euros

La zone euro comprend 19 pays (voir la chronologie) sur les 27 que l'UE compte à ce jour. Bulgarie, Croatie, Hongrie, Pologne, République tchèque, Roumanie n'ont pas encore rempli les critères économiques requis pour la rejoindre. Le Danemark et la Suède ont négocié la conservation de leur monnaie nationale. À l'inverse, le Monténégro et le Kosovo, pays européens non-membres de l'UE, ont fait le choix de passer à l'euro en 2002. Au même moment que quatre micro-États non-membres: l'Andorre, le Vatican, Monaco et Saint-Marin (sur la péninsule italienne).



1998
La Banque centrale européenne est créée, chargée de la mise en œuvre de la politique monétaire unique de la zone euro.

1999
Le 1^{er} janvier, France, Allemagne, Italie, Pays-Bas, Belgique, Luxembourg, Espagne, Portugal, Autriche, Irlande et Finlande adoptent l'euro pour les opérations bancaires dématérialisées, paiements par chèque et carte bancaire.

2002
Au 1^{er} janvier, tous les citoyens de la zone euro peuvent désormais payer avec des pièces et billets de la nouvelle monnaie.

2012
Sans cours légal depuis dix ans, le franc disparaît avec la démonétisation de ses billets (l'échange des pièces en franc avait cessé en 2005).

2015
Un dernier pays adopte l'euro, la Lituanie, après la Grèce (2001), la Slovénie (2007), Chypre et Malte (2008), la Slovaquie (2009), l'Estonie (2011) et la Lettonie (2014).

© Shutterstock - Communautés Européennes 1991 - Source: PE



L'ADN

ou le génie du vivant

Il est partout. Dans chacune des cellules à noyau de tout être vivant, même la plus microscopique des bactéries. Depuis qu'ils ont découvert l'acide désoxyribonucléique, à la fin du XIX^e siècle, les scientifiques n'ont de cesse de décrypter son précieux message : le patrimoine génétique, qui guide notre fonctionnement et notre développement.

Par Nathalie Picard



Remerciements à Genopole pour son aide dans la réalisation de ce dossier. Ce pôle national de recherche et de développement en génétique et en biotechnologie permet la collaboration de laboratoires, d'entreprises, de l'université et du centre hospitalier d'Évry-Courcouronnes (Essonne). Plus d'infos sur: www.genopole.fr

À la découverte de l'ADN



Projet Génome humain. Tel est le nom de la grande aventure dans laquelle s'est lancée, en 1990, une équipe internationale de chercheurs. L'objectif? Séquencer la totalité de l'ADN (ou acide désoxyribonucléique) de l'être humain. Un travail considérable, mené durant treize ans, qui sera comparé aux missions spatiales

Apollo. Concrètement, il s'agit de déchiffrer chacune des 3,5 milliards de lettres du code génétique écrit sur les molécules de notre ADN, qui recèle le mode d'emploi de tout organisme. On le sait, pour faire tourner un ordinateur ou un smartphone, il faut un super programme capable de gérer toutes les applications et les logiciels qu'on ajoute à son système.

Eh bien, pour faire tourner notre organisme et les quelque 37000 milliards de cellules qui le composent, c'est la même chose, à ceci près que le programme informatique est remplacé par un code génétique qui contient, dès la conception d'un être humain, toutes les informations nécessaires à sa construction, à son développement et à son bon fonctionnement.

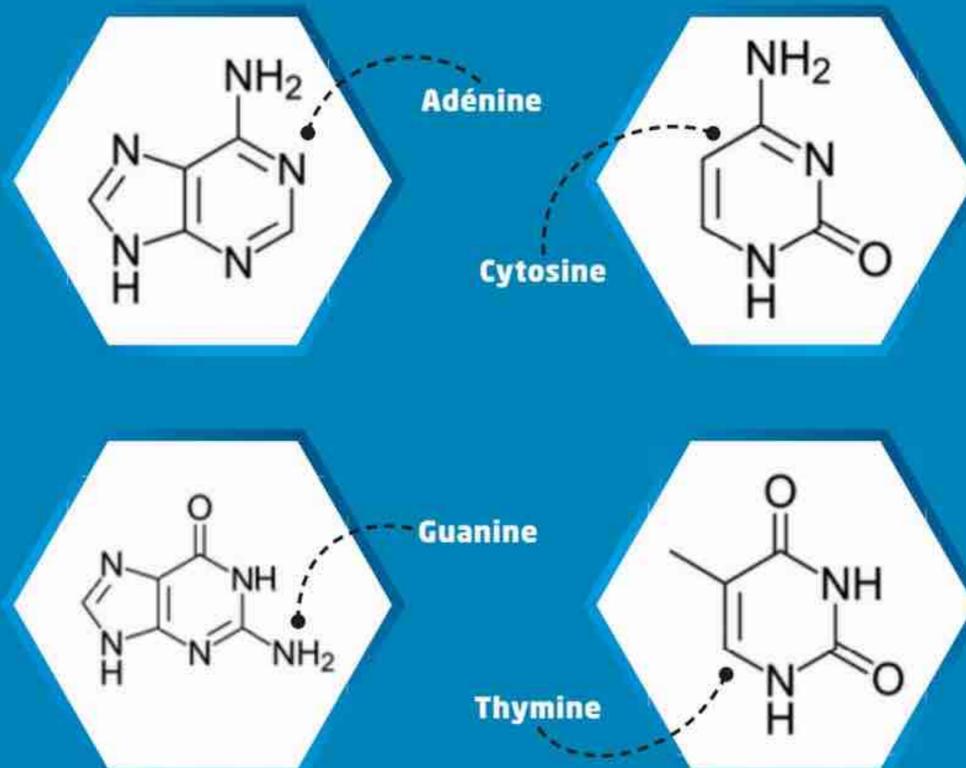
Tel un programme informatique, il fait tourner nos 37000 milliards de cellules

Pour le décrypter, il faut plonger dans le noyau des cellules, là où nichent les chromosomes, des paquets d'ADN associés à des protéines de structure. Au total, chaque être humain en possède 46, organisés en 23 paires héritées pour moitié de sa mère et pour l'autre de son père. Déplié, le chromosome dévoile la molécule d'ADN, un long filament en forme de double hélice. Sur chacun de ses deux brins apparaît une interminable enfilade de lettres: «AATTGGCGTTAAGCT...». Alors que notre alphabet comporte 26 lettres, celui de l'ADN n'en possède que quatre: A (adénine), T (thymine), C (cytosine) et G (guanine), les initiales de quatre molécules appelées «bases». Associées deux par deux, face à face sur la double hélice, elles relient à la façon des barreaux d'une échelle les deux brins, dont la charpente est composée de sucres (le désoxyribose) et de phosphates.

Par endroits, ces combinaisons de lettres constituent des gènes, qui renferment les instructions permettant la fabrication des protéines dont notre corps a •••

Un code à quatre lettres

A comme adénine, T comme thymine, C comme cytosine et G comme guanine. Ces quatre lettres désignent quatre molécules chimiques simples, appelées bases. Elles portent un précieux patrimoine, l'information génétique, qui se transmet de génération en génération. L'adénine s'associe toujours à la thymine, et la cytosine à la guanine. Cet appariement des bases forme les barreaux de la double hélice d'ADN (voir page de droite). Il permet de souder les deux brins par des liaisons chimiques fortes, appelées liaisons hydrogène.



Une structure en double hélice

La molécule d'ADN est un filament extrêmement fin, long de deux mètres, tellement replié sur lui-même autour de protéines appelées histones qu'il arrive à se nicher dans le noyau de la cellule humaine, de taille microscopique. Une fois déplié, l'ADN dévoile sa forme en double hélice, une

sorte d'escalier à deux rampes en colimaçon. Et c'est là, sur les marches de cette double hélice, que le programme génétique de chaque individu est inscrit en quatre lettres – les bases A, T, C et G –, elles-mêmes reliées à des sucres et à des phosphates formant les rampes de l'escalier.

8. Patrimoine

Les humains comptent 46 chromosomes organisés en 23 paires (la moitié provenant de la mère et l'autre du père).

7. Noyau

Les chromosomes nichent dans le noyau de la cellule humaine, protégés par une double membrane.

6. Chromosomes

Chaque ruban de chromatine constitue une structure en forme de X allongé appelée chromosome, qui est visible lors de la division cellulaire.

5. Chromatine

L'association d'ADN et de protéines forme une matière compacte appelée chromatine, qui tient dans le noyau de la cellule.

1. Bases

Supports de l'information génétique, les quatre bases s'apparient grâce à des liaisons hydrogène, lesquelles relient les deux brins d'ADN.

2. Double hélice

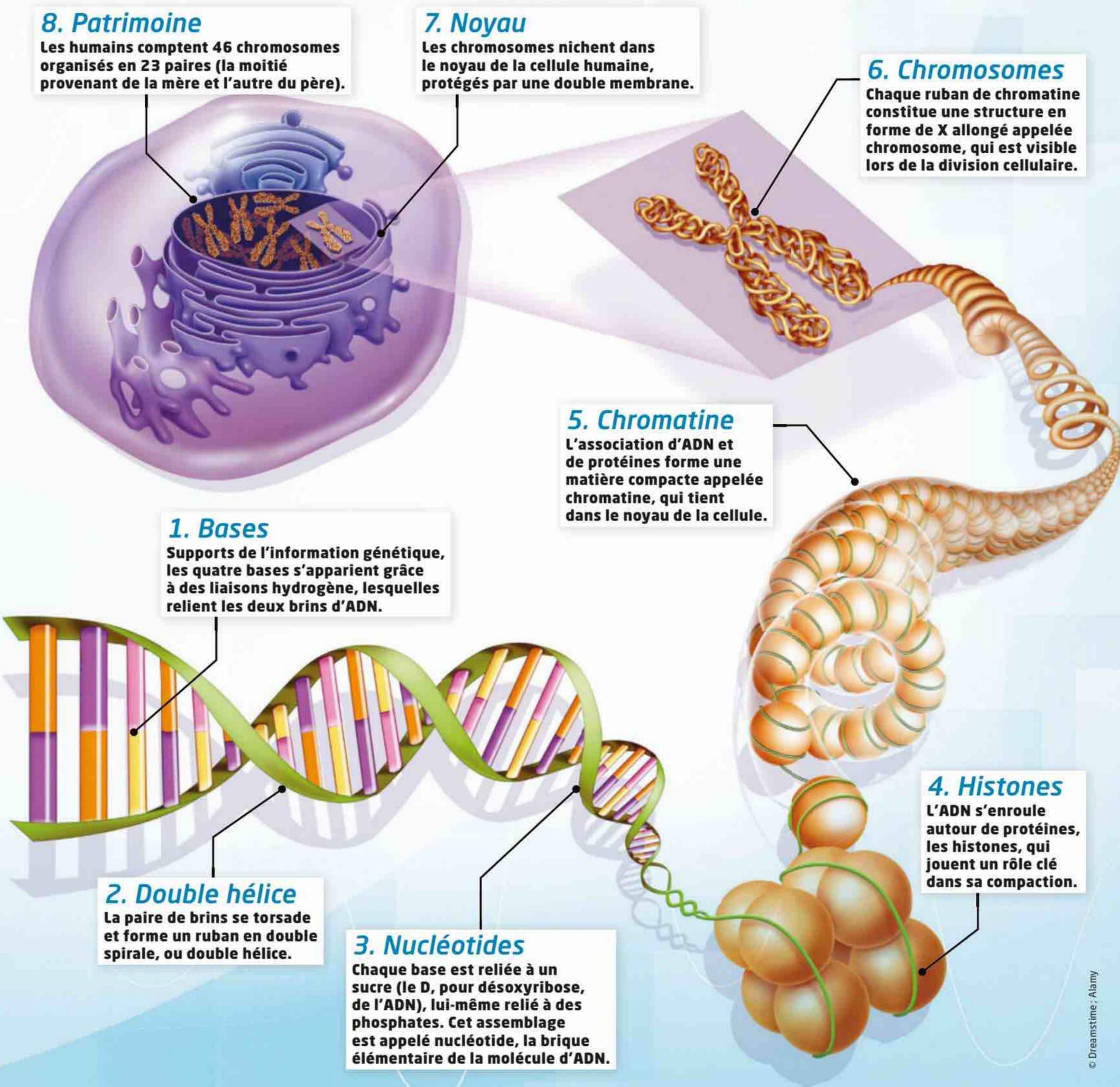
La paire de brins se torsade et forme un ruban en double spirale, ou double hélice.

3. Nucléotides

Chaque base est reliée à un sucre (le D, pour désoxyribose, de l'ADN), lui-même relié à des phosphates. Cet assemblage est appelé nucléotide, la brique élémentaire de la molécule d'ADN.

4. Histones

L'ADN s'enroule autour de protéines, les histones, qui jouent un rôle clé dans sa compaction.



••• besoin pour fonctionner. À leur niveau, le double brin d'ADN s'ouvre et des enzymes copient le matériel génétique sous la forme d'une molécule proche, appelée ARN (acide ribonucléique) messenger, elle aussi composée d'une suite de bases. Tel un pigeon voyageur, elle emmène le plan de fabrication en dehors du noyau, dans une usine à protéines. C'est là qu'une équipe d'experts cellulaires déchiffre le code génétique. Les bases de l'ARN messenger forment des suites de trois lettres (CCG, TAG, CTA...) appelées codons. À chaque trio correspond un seul acide aminé, la brique élémentaire de construction des protéines. Par exemple, CCC code pour la proline, GCA pour l'alanine et GCG pour la glycine. On dit que le code est « non ambigu ». En revanche, à un acide aminé peuvent correspondre plusieurs codons : il en existe 64 pour 20 acides aminés. Par ailleurs, le code

génétique est universel. À quelques exceptions près, tous les êtres vivants possèdent le même. Il remonte donc aux origines de la vie, il y a environ 3,5 milliards d'années, quand il n'existait qu'une lignée de cellules à l'origine de tous les organismes vivants sur Terre, appelée Luca (acronyme anglais de « dernier ancêtre commun universel »).

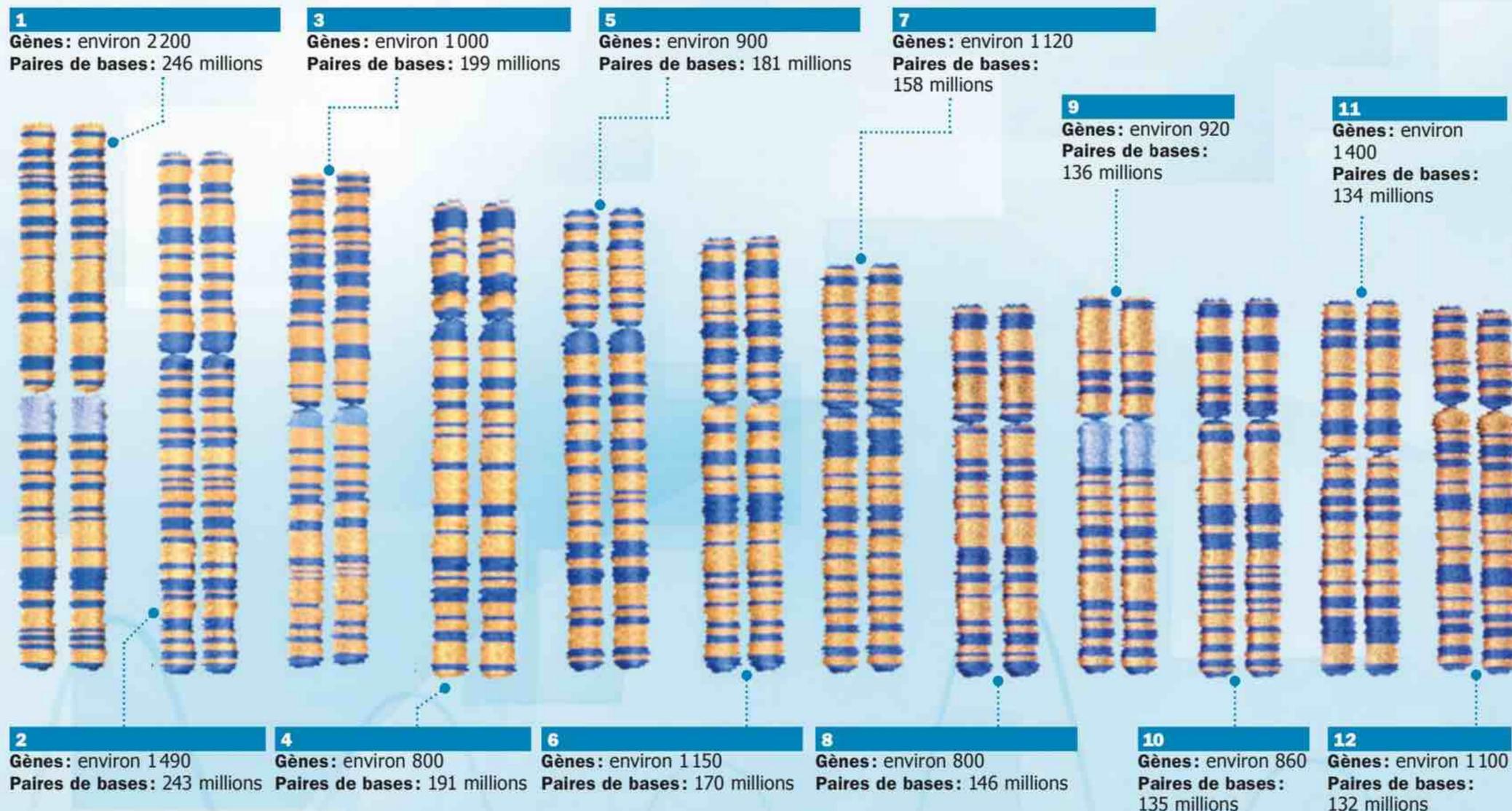
98 % de matériau « non codant »

En 2003, les résultats du projet Génome humain révèlent quelques surprises. D'abord, notre ADN contient moins de gènes qu'attendu. Lors du premier séquençage complet du génome d'une plante, l'arabette des dames, réalisé en 2000, les scientifiques avaient déjà été étonnés de ne trouver que 25 000 gènes là où ils s'attendaient à en découvrir 60 000 à 100 000... Pour l'humain, les chercheurs n'en ont trouvé que 30 000. Aujourd'hui, ce chiffre est même tombé à environ 22 000 gènes, moins que dans un grain de riz !

Conséquence, le patrimoine génétique humain renferme forcément une grande part d'ADN dit non codant : 98% de ce matériau ne contient aucun gène. Baptisé à tort ADN « poubelle » dans les années 1970, il possède en réalité un pouvoir considérable, •••

Surprise : le génome humain ne contient que 22 000 gènes, soit moins que dans un grain de riz !

Nos 23 paires de chromosomes à la loupe



Comment l'ADN se réplique

Dans notre corps, les cellules se renouvellent en permanence. Pour se multiplier, elles doivent copier leur ADN. Cette étape cruciale dure quelques heures.

2. Stabilisation des brins

Des protéines empêchent les deux brins de se lier à nouveau.

1. Ouverture de l'hélice

Une enzyme, l'hélicase, sépare les deux brins de la double hélice d'ADN. Ils ont toujours le même sens de lecture (dit de 5' vers 3').

3. Copie du brin précoce

L'ADN polymérase, enzyme chargée de fabriquer la copie, ne se déplace que dans une seule direction (de 5' vers 3'). Le brin qui est dans le bon sens de copie est dupliqué de façon continue.

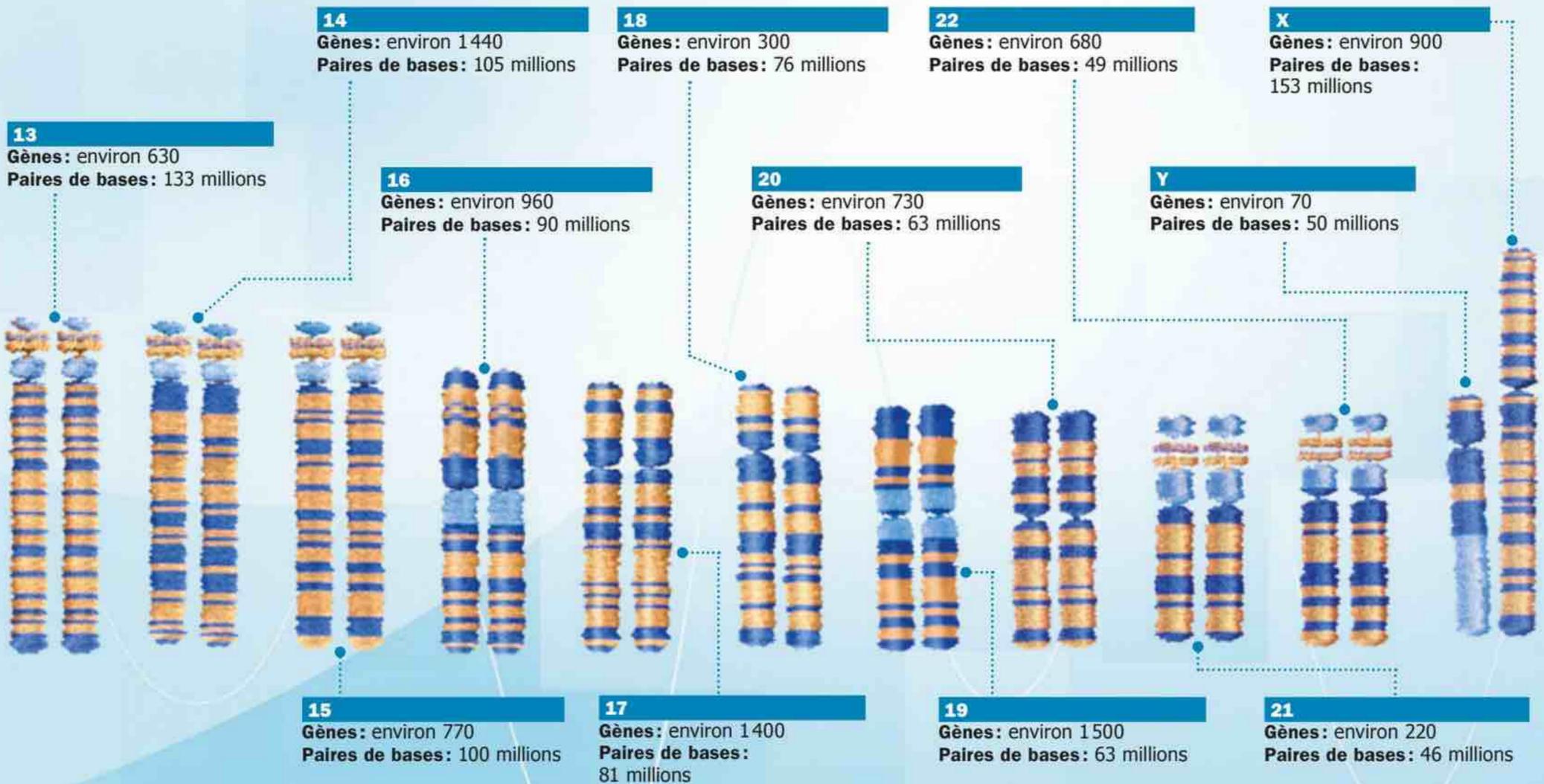
4. Copie du brin tardif

Ce second brin, situé dans le sens opposé par rapport à l'avancée de la réplication, est copié par petits morceaux.

5. Assemblage des fragments

Une autre protéine, l'ADN ligase, intervient pour relier les morceaux adjacents entre eux.

© Illustration by Ed Crooks; DK Images



... celui de moduler les gènes. Car si chaque noyau des cellules de notre organisme contient le même ADN, celui-ci ne s'exprime pas partout de la même manière. Les cellules n'utilisent pas tout le temps l'intégralité de leur programme. Et surtout, pas la même partie. Le manuel d'instructions n'est pas figé : il tient compte de ce qui se passe autour de lui pour s'ajuster en fonction des besoins de chaque cellule. Et c'est une bonne chose, car celles des muscles n'ont pas du tout le même rôle que celles du foie ! Ainsi, un gène peut rester silencieux dans une cellule et s'exprimer sous la forme d'une protéine dans une autre. Ces mécanismes de régulation, très complexes, sont encore méconnus. C'est la face cachée de l'ADN...

L'environnement change tout

Les scientifiques se penchent notamment sur l'influence de l'environnement (pollution, alimentation, stress...), capable d'imprimer des marques sur l'ADN ou sur ses protéines de structure sans en changer la séquence, et ainsi de moduler l'expression des gènes. Ces modifications chimiques sont réversibles et moins stables que la séquence d'ADN, mais elles pourraient malgré tout se transmettre à la descendance. C'est ce qu'on appelle l'épigénétique, un champ de recherche ouvrant de multiples perspectives en santé. En effet, des anomalies épigénétiques sont en cause dans certaines maladies, comme les cancers. Le tabagisme, par exemple, est un facteur environnemental connu pour laisser sur l'organisme des traces qui mettent des décennies à disparaître après l'arrêt du tabac. Récemment, des chercheurs français ont découvert que chez les femmes enceintes fumeuses – et même chez les anciennes fumeuses –, l'ADN du placenta renferme des modifications épigénétiques. Leurs conséquences pourraient être néfastes pour le fœtus et l'enfant à venir... Des chercheurs travaillent sur des « épimédicaments », en cours de développement, qui pourraient un jour corriger des anomalies.

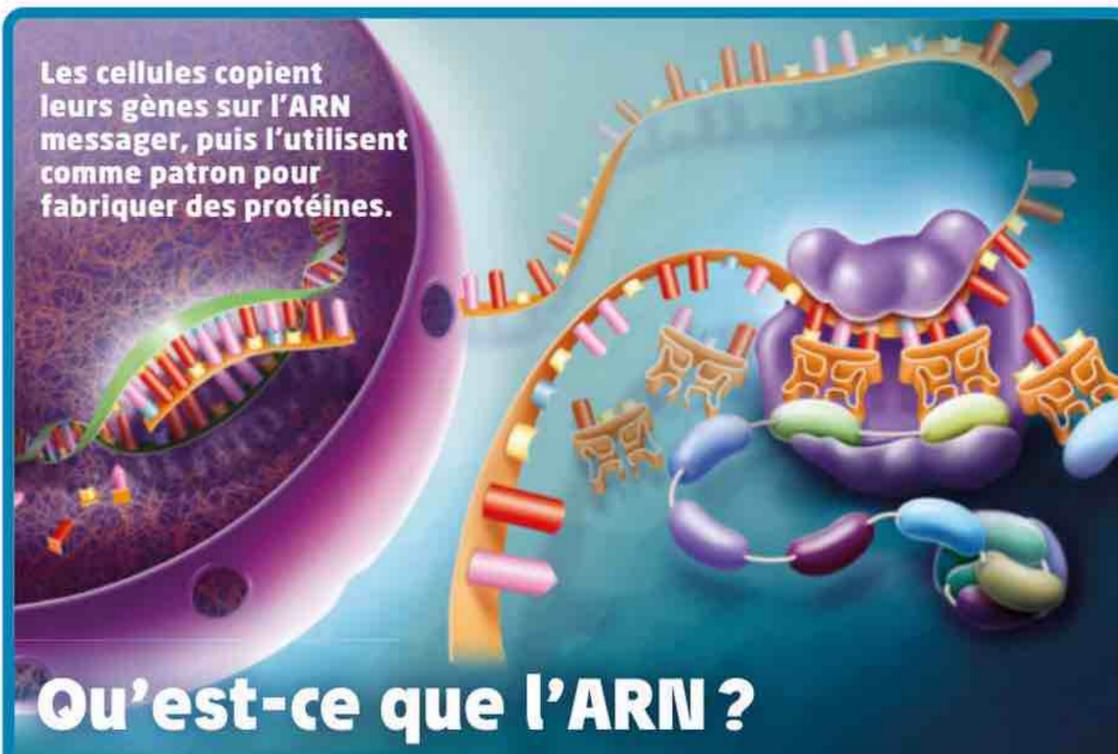
Depuis deux décennies, les scientifiques s'intéressent également au rôle de petites molécules fabriquées à partir des instructions de l'ADN non codant. Appelées micro-ARN, elles régulent elles aussi l'expression des gènes. Ces découvertes révolutionnent la recherche dans de nombreux domaines, comme la santé, la paléontologie ou l'écologie. L'exploration des secrets de l'ADN est loin d'être terminée. Mais elle a déjà changé à jamais notre vision du vivant. 

Le tabac provoque des modifications de l'ADN réversibles, mais transmissibles à la descendance

C'est quoi une mutation ?

Lorsque les cellules sexuelles se divisent pour fabriquer des spermatozoïdes et des ovules, les lettres du génome sont dupliquées pour être transmises à la prochaine génération. Des erreurs de copie, fréquentes, entraînent des mutations dans les gènes et parfois des changements de leurs protéines. Avec des conséquences variables... Imaginons que cette phrase est un gène : « Il entra avec une hache à la main. » Si un « r » est mis devant « entra », la phrase garde un sens proche.

Mais si le « h » de « hache » devient un « v », le message change complètement : c'est une mutation « faux sens ». Parfois, un arrêt précoce survient, du genre « Il entra avec ». Cette mutation « non-sens » tronque la protéine. Dans d'autres cas, des gènes, entiers ou en partie, peuvent être dupliqués, croisés, supprimés... Bref, avec plus de 3 milliards de bases, les possibilités sont multiples. Des erreurs sont éliminées, d'autres s'avèrent bénéfiques, certaines causent des maladies génétiques.



Qu'est-ce que l'ARN ?

L'ADN et l'ARN sont les deux grands types d'acides nucléiques, molécules constituées d'un assemblage de nucléotides. La structure chimique de l'ARN, acide ribonucléique, est similaire à celle de l'ADN (acide désoxyribonucléique), à quelques différences près : son sucre est un ribose (le R de l'ARN) et ses bases sont l'adénine, la cytosine, la guanine et l'uracile (A, C, G et U). En général, l'ARN se présente sous la forme d'un simple brin, moins stable que l'ADN. En portant l'information génétique de manière transitoire dans les cellules, il joue un rôle clé dans la fabrication des protéines. Durant la première étape,

appelée transcription, l'ADN est transcrit en ARN : le double brin d'ADN se détache pour que l'un des deux soit copié en ARN dit messager. Celui-ci sort du noyau et sert de patron à la machinerie cellulaire, chargée de fabriquer les protéines. Sur l'ARN messager, chaque trio de bases correspond à un acide aminé, apporté par un autre ARN, dit de transfert : c'est la traduction. La machinerie relie les acides aminés entre eux pour former la future protéine. Ensuite, ces ARN se dégradent rapidement dans la cellule. Il en existe d'autres sortes, dits « non codants », qui ne servent pas à fabriquer des protéines, mais à réguler l'expression des gènes.

Les étapes de la mitose

Durant toute notre vie, nos cellules se renouvellent. Elles doivent se multiplier en conservant le même matériel génétique. Comment une cellule mère se divise-t-elle en deux cellules filles identiques à elle ? Zoom sur ce phénomène fondamental appelé mitose.

5. Interphase

Elle succède à la mitose. Après une phase de croissance cellulaire, la réplication de l'ADN démarre : chaque chromosome passe d'une à deux chromatides.

1. Prophase

La chromatine se condense en chromosomes à la forme caractéristique en X : chacun comporte deux chromatides identiques reliés par un centromère. Une structure appelée fuseau mitotique commence à se former, avec deux pôles.

2. Métaphase

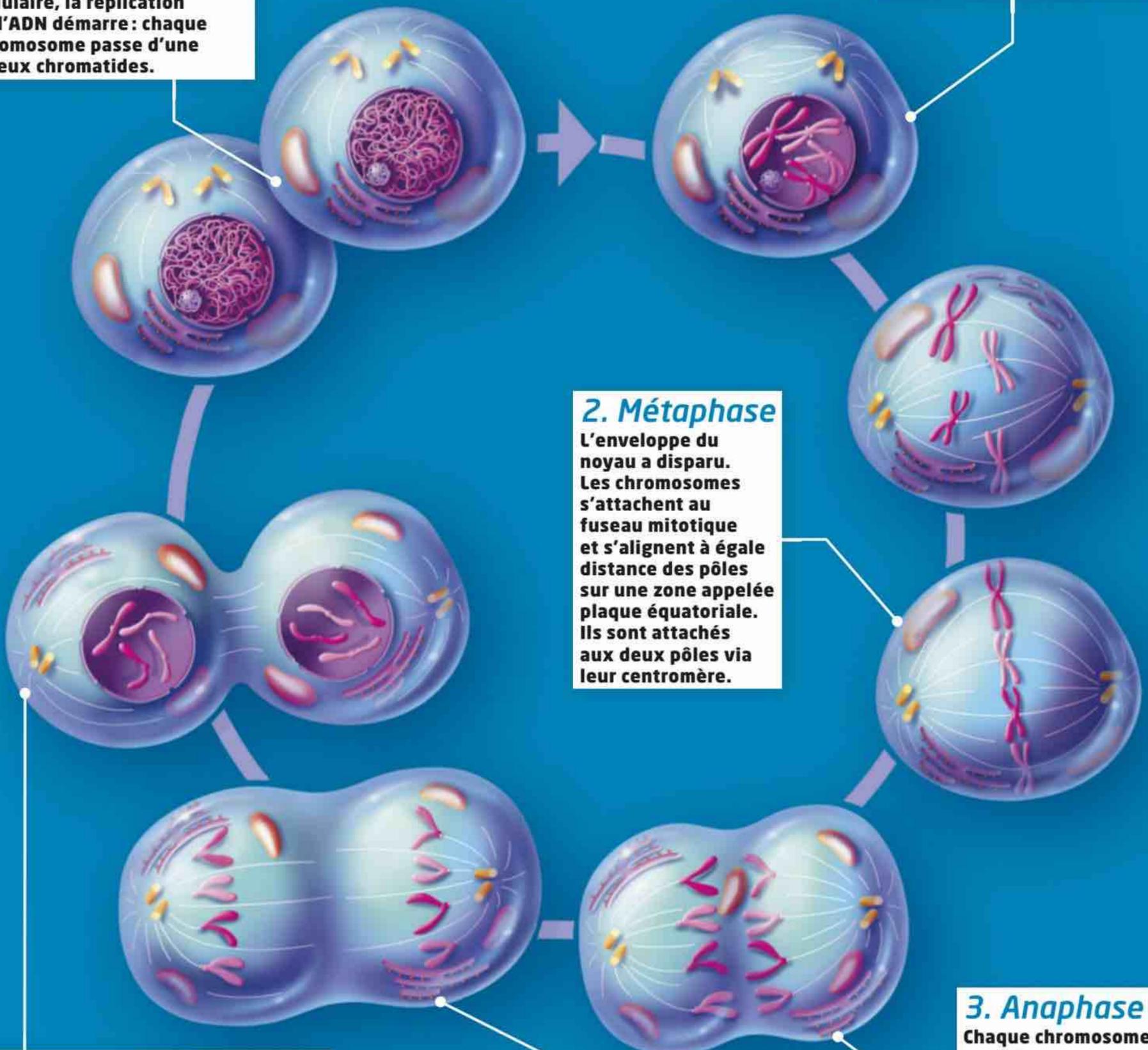
L'enveloppe du noyau a disparu. Les chromosomes s'attachent au fuseau mitotique et s'alignent à égale distance des pôles sur une zone appelée plaque équatoriale. Ils sont attachés aux deux pôles via leur centromère.

3. Anaphase

Chaque chromosome se divise en deux : ses chromatides se détachent et s'éloignent vers les pôles pour former les chromosomes des futures cellules filles.

4. Télophase

Les chromatides rejoignent les pôles et le fuseau mitotique s'efface. Une enveloppe nucléaire apparaît autour de chaque lot de chromosomes. Ensuite, la membrane cellulaire se divise en deux membranes filles.



La génétique dans nos vies

Ce domaine de recherche en plein boom a de plus en plus d'impact sur notre quotidien. De l'alimentation à la santé, de nouvelles applications ne cessent de voir le jour.

● Elle nous aide à...

... sélectionner nos aliments

Les humains sélectionnent plantes et animaux depuis les origines de l'agriculture, mais la génétique les a aidés à perfectionner leurs techniques. À la fin du XIX^e siècle, l'hybridation se développe: croiser deux plantes aux atouts différents permet d'obtenir le meilleur de chacune. Le triticale, une céréale pour le bétail, allie ainsi la productivité du blé et la rusticité du seigle. Depuis le XX^e siècle, de nombreuses plantes cultivées sont obtenues par mutagenèse aléatoire (mutations induites par des rayonnements ou des agents chimiques). Une technique plus récente, la transgenèse, permet d'insérer de l'ADN étranger dans un être vivant, comme le maïs Bt auquel un gène bactérien confère une résistance aux insectes. Et depuis dix ans, la mutagenèse dirigée révolutionne le domaine, grâce à des ciseaux moléculaires capables d'introduire une mutation à un endroit précis du génome. L'objectif est toujours de donner de nouvelles propriétés aux plantes et animaux: résistance, rendement, goût...

... mieux nous soigner

Qui n'a jamais entendu parler du test RT-PCR? Cet examen connu de tous s'appuie sur une technique de la génétique pour diagnostiquer le Covid-19: la réaction en chaîne par polymérase (PCR) consiste à copier de nombreuses fois trois petites séquences d'ADN spécifiques au coronavirus afin d'atteindre le seuil nécessaire à sa détection. Par ailleurs, le séquençage du virus est au cœur de la stratégie de lutte contre le Covid-19, pour mettre au point les vaccins ou repérer de nouveaux variants. La génétique permet aussi de dépister des maladies graves ou de connaître les risques d'en développer une. En 2019, 530 000 personnes ont bénéficié d'un examen génétique en France. Le plan France médecine génomique 2025 prévoit de séquencer 220 000 génomes complets de patients par an. Pour l'heure, la priorité est donnée à la lutte contre les cancers et au diagnostic des maladies rares. L'objectif? Soigner



Le test RT-PCR s'appuie sur la copie de séquences d'ADN spécifiques pour détecter le virus du Covid-19.

chaque personne de manière adaptée grâce à la connaissance de son génome. En employant, par exemple, la thérapie génique: elle intervient au cœur des cellules pour remplacer, éliminer ou réparer un gène défectueux. Après des années de tâtonnements, elle commence à trouver sa place dans l'arsenal des traitements. Les médicaments disponibles aujourd'hui soignent certains cancers, une anomalie génétique de la rétine, une maladie musculaire... Et les recherches se poursuivent.

Comment prélever de l'ADN ?



Frottis buccal
À l'aide d'une brosette, on frotte la paroi intérieure des joues pour détacher des cellules contenant de l'ADN.



Test sanguin
Une prise de sang permet de récolter des globules blancs (les globules rouges sont dépourvus d'ADN).



Prélèvement salivaire
Il suffit de cracher dans un récipient pour recueillir la salive, qui contient des cellules de l'intérieur des joues.



En laboratoire, des plantes sont modifiées génétiquement pour améliorer leur rendement ou leur résistance.

● Elle permet de...

... décrypter l'histoire de l'humanité

Environ 1,65 million d'années. C'est l'âge du plus vieil ADN séquencé au monde, en 2021, celui des dents d'un mammouth découvert dans le sol gelé de Sibérie. Auparavant, un cheval vieux de 560 000 à 780 000 ans détenait le record. Ces découvertes ont permis de mieux comprendre l'évolution des espèces sur Terre. Dans le même but, les scientifiques décryptent aussi l'ADN de personnes vivantes. « Les gènes

sont un livre d'histoire, une machine à remonter le temps », écrit la biologiste Éveline Heyer (Muséum national d'histoire naturelle) dans *L'Odyssée des gènes* (2020). Par exemple, les scientifiques ont longtemps cru qu'*Homo sapiens* et Néandertal ne s'étaient jamais croisés. Mais en séquençant le génome de Néandertal (2010), ils ont découvert que leur rencontre avait eu lieu il y a 50 000 ans en Asie.



Le séquençage d'ADN ancien aide à comprendre l'évolution des espèces.

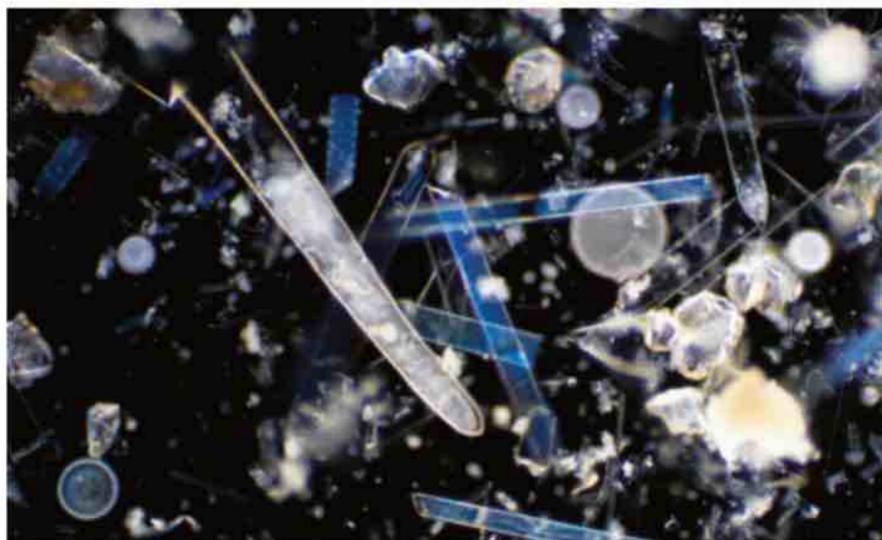
... explorer des mondes inconnus

Grâce aux progrès de la génétique, les chercheurs peuvent déceler les fragments d'ADN laissés par les êtres vivants dans

la nature en analysant des échantillons d'eau ou de terre. Ainsi, de 2009 à 2013, les scientifiques de l'expédition Tara

Oceans ont récolté 35 000 extraits de plancton à travers le globe, renfermant des millions d'organismes aquatiques (bactéries, algues, virus...) à la base de la

chaîne alimentaire des océans. Leur ADN a été extrait, puis séquencé au Genoscope (Genopole) et enfin analysé par de puissants ordinateurs. Dans 400 échantillons, les chercheurs ont par exemple mis au jour 117 millions de gènes appartenant à des organismes complexes (algues microscopiques, petits animaux...), dont la moitié sont inconnus. L'océan commence tout juste à révéler ses mystères.



Des millions de gènes appartenant à des organismes aquatiques (ici, des diatomées) ont été découverts grâce à l'expédition Tara Oceans.



Test de Guthrie

Une piqûre dans le talon du nouveau-né permet de prélever quelques gouttes de sang pour dépister six maladies graves (comme la mucoviscidose), souvent d'origine génétique. Ce n'est pas une analyse d'ADN, mais de molécules présentes dans le sang.



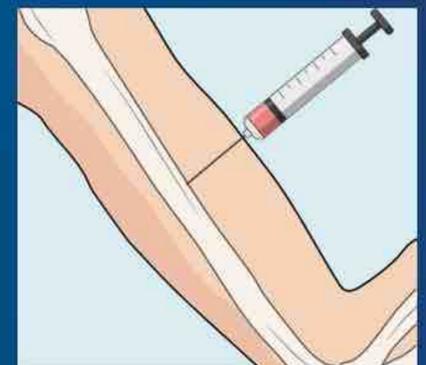
Amniocentèse

Au-delà de trois mois de grossesse, le liquide amniotique dans lequel baigne le fœtus peut être ponctionné à l'aide d'une aiguille pour recueillir des cellules et détecter des anomalies comme la trisomie 21.



Choriocentèse

Avant trois mois de grossesse, on privilégie cet examen à l'amniocentèse. On récolte les cellules du placenta, dont l'information génétique est la même que celle du fœtus.

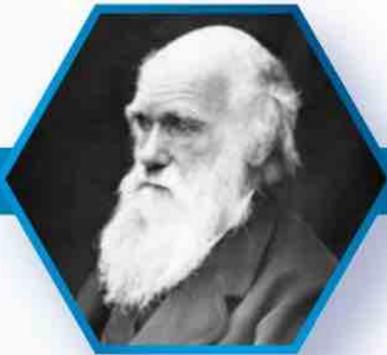


Ponction

En cas de cancer, on peut récupérer des cellules tumorales et analyser leurs mutations afin de cibler la thérapie.

Deux siècles de géniales découvertes

Tour d'horizon des scientifiques et des événements qui ont le plus marqué l'histoire de la recherche en génétique.



1859

Le naturaliste britannique Charles Darwin publie *L'Origine des espèces*, ouvrage dans lequel il présente sa théorie de l'évolution des espèces par sélection naturelle.



1865

Le botaniste autrichien Gregor Mendel établit les lois de l'hérédité en croisant des plants de pois. Il découvre, entre autres, qu'un caractère héréditaire peut prendre différentes formes (allèles), dominantes ou récessives.



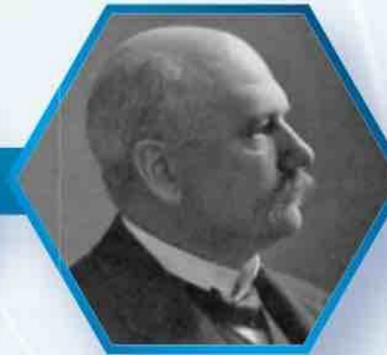
1869

Le biologiste suisse Friedrich Miescher récolte une substance blanche dans des pansements imprégnés de pus. Du volumineux noyau de ces globules blancs, il extrait une solution acide, inconnue, riche en phosphore et en azote. Il la nomme nucléine.



1879-1882

Le biologiste allemand Walther Flemming décrit les étapes de la division cellulaire par mitose dans des cellules de salamandre. Il donne le nom de chromatine à la substance qu'il observe dans le noyau. En 1882, il publie ses travaux dans le livre *Substance cellulaire, noyau et division cellulaire*.



1885

Le médecin allemand Albrecht Kossel analyse la nucléine et découvre qu'elle renferme de l'acide phosphorique, un sucre et des bases. Avec ses étudiants, il révèle progressivement l'existence de cinq bases : adénine, guanine, cytosine, thymine et uracile. En 1910, il reçoit le prix Nobel de physiologie ou médecine.

1800

1810

1820

1830

1840

1850

1860

1870

1880

1890

1900

1910



1953

Le généticien américain James Watson (à gauche) et le biophysicien britannique Francis Crick synthétisent les connaissances de l'époque et publient leur proposition de structure de l'ADN dans la revue *Nature*. Ils décrivent deux chaînes en forme d'hélice, enroulées autour du même axe, avec les bases à l'intérieur et les phosphates à l'extérieur. Avec Maurice Wilkins, ils recevront le prix Nobel de physiologie ou médecine en 1962.

1968

Les trois prix Nobel de 1968, le biochimiste américain Marshall Nirenberg, le biologiste indo-américain Har Gobind Khorana et le chimiste américain Robert Holley, ont décrypté le code génétique (quel trio de bases correspond à quel acide aminé) et son rôle dans la synthèse des protéines.

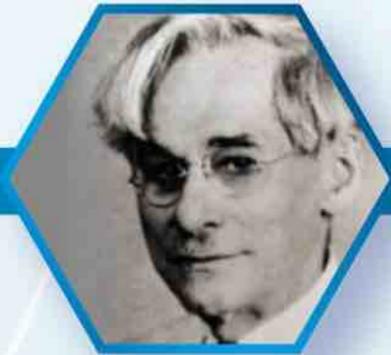
1977

Les biologistes américains Allan Maxam et Walter Gilbert, ainsi que le biochimiste anglais Frederick Sanger, mettent au point des techniques pour lire la séquence de l'ADN. La première est une méthode chimique, la seconde utilise une enzyme.



1985

Le chimiste américain Kary Mullis invente la PCR (réaction en chaîne par polymérase), une technique de copie rapide de morceaux d'ADN en grande quantité (amplification). Il reçoit le prix Nobel de chimie en 1993.



1919

Le biochimiste américain Phoebus Levene étudie des levures et propose le modèle « polynucléotide » : l'acide nucléique est une série de nucléotides, chacun comportant l'une des quatre bases. Il découvre l'ordre des trois composants des nucléotides (phosphate, sucre, base), le ribose de l'ARN et le désoxyribose de l'ADN.



1944

Le médecin canado-américain Oswald Theodore Avery (*photo ci-dessus*), le généticien canado-américain Colin MacLeod et le généticien américain Maclyn McCarty démontrent que l'ADN est le support des informations héréditaires.



1950

Le biochimiste autrichien Erwin Chargaff découvre que dans l'ADN, la composition en bases change d'une espèce à l'autre. En revanche, la quantité d'adénine et de thymine est la même, ainsi que celle de guanine et de cytosine.



1952

Deux Britanniques, la chimiste Rosalind Franklin et le biophysicien Maurice Wilkins, utilisent la cristallographie aux rayons X pour photographier la structure de l'ADN. Maurice Wilkins montre les clichés aux chercheurs Watson et Crick. L'interprétation du cliché 51 de Rosalind Franklin révèle la structure de l'ADN en double hélice.

1920

1930

1940

1950

1960

1970

1980

1990

2000

2010

2020



1995

Le génome d'une bactérie, *Hæmophilus influenzae*, est séquencé pour la première fois.

1996

Des scientifiques britanniques clonent le premier mammifère, la brebis Dolly, à partir de cellules adultes.

2003

Une équipe internationale (États-Unis, Japon, France, Royaume-Uni, Allemagne, Chine) publie la première carte du génome humain, après treize années de recherche (projet Génome humain). En France, au Genopole d'Évry (Essonne), le Genoscope a séquencé le chromosome 14.

2010

Les chercheurs du projet européen MetaHIT publient le séquençage de tous les gènes des bactéries du tube digestif humain.



2020

La généticienne française Emmanuelle Charpentier (*photo ci-dessus*) et la biochimiste américaine Jennifer Doudna reçoivent le prix Nobel de chimie pour l'invention d'un ciseau génétique (CRISPR-Cas9), capable de couper l'ADN à un endroit précis.

SÉBASTIEN MITTON

« Mes influences viennent de la pop culture, du cinéma, de la bande dessinée »

Il rêvait de vivre du dessin. C'est finalement dans l'univers du jeu vidéo qu'il se forge, depuis une vingtaine d'années, une solide réputation. Directeur artistique du studio lyonnais Arkane, Sébastien Mitton est derrière les jeux cultes *Dishonored* et, plus récemment, *Deathloop*, promis lui aussi à un beau succès.

Par François Bliss de la Boissière

D*deathloop*, la dernière production du studio français Arkane, basé à Lyon, rallie tous les suffrages critiques. C'était déjà le cas pour les deux épisodes au succès culte de *Dishonored*, parus en 2012 et 2018, ainsi que pour *Prey* (2017), développé par la filiale d'Austin, au Texas (États-Unis). Parmi les qualités indéniables de ces productions françaises, la patte graphique retient l'attention. De la réinterprétation de l'époque victorienne dans *Dishonored* aux années 1960-1970 psychédélices de *Deathloop*,

les jeux signés Arkane inventent des univers visuels et sonores complets et uniques. Le gameplay dit immersif, où le joueur a beaucoup de liberté d'action, fonctionne en particulier parce que le monde fictif proposé repose sur une cohérence thématique en plus d'être très beau à voir.

Depuis 2004, Sébastien Mitton en est le directeur artistique. Même si la réalisation de jeux aussi ambitieux fait appel à de nombreux talents, il est celui qui entretient le style visuel si singulier du studio. Il nous raconte son parcours, de ses études à ses succès, toujours fidèle à la ville de Lyon. 📍



Étude de personnage pour le jeu *Dishonored*.

Comment ça marche : Lorsque vous avez intégré une école de dessin et d'animation, était-ce avec l'ambition de travailler dans le jeu vidéo ?

Sébastien Mitton : Pas du tout, je pensais à la publicité. Au lycée, j'avais fait un stage où je devais réaliser des logos manuellement - au début des années 1990, il n'y avait pas encore d'ordinateurs - et cela m'avait beaucoup intéressé. Je dessine depuis le collège et j'avais envie d'en faire mon métier sans que cela soit très clair. J'ai postulé aux Beaux-Arts à Saint-Étienne et à Lyon, avant de finalement découvrir

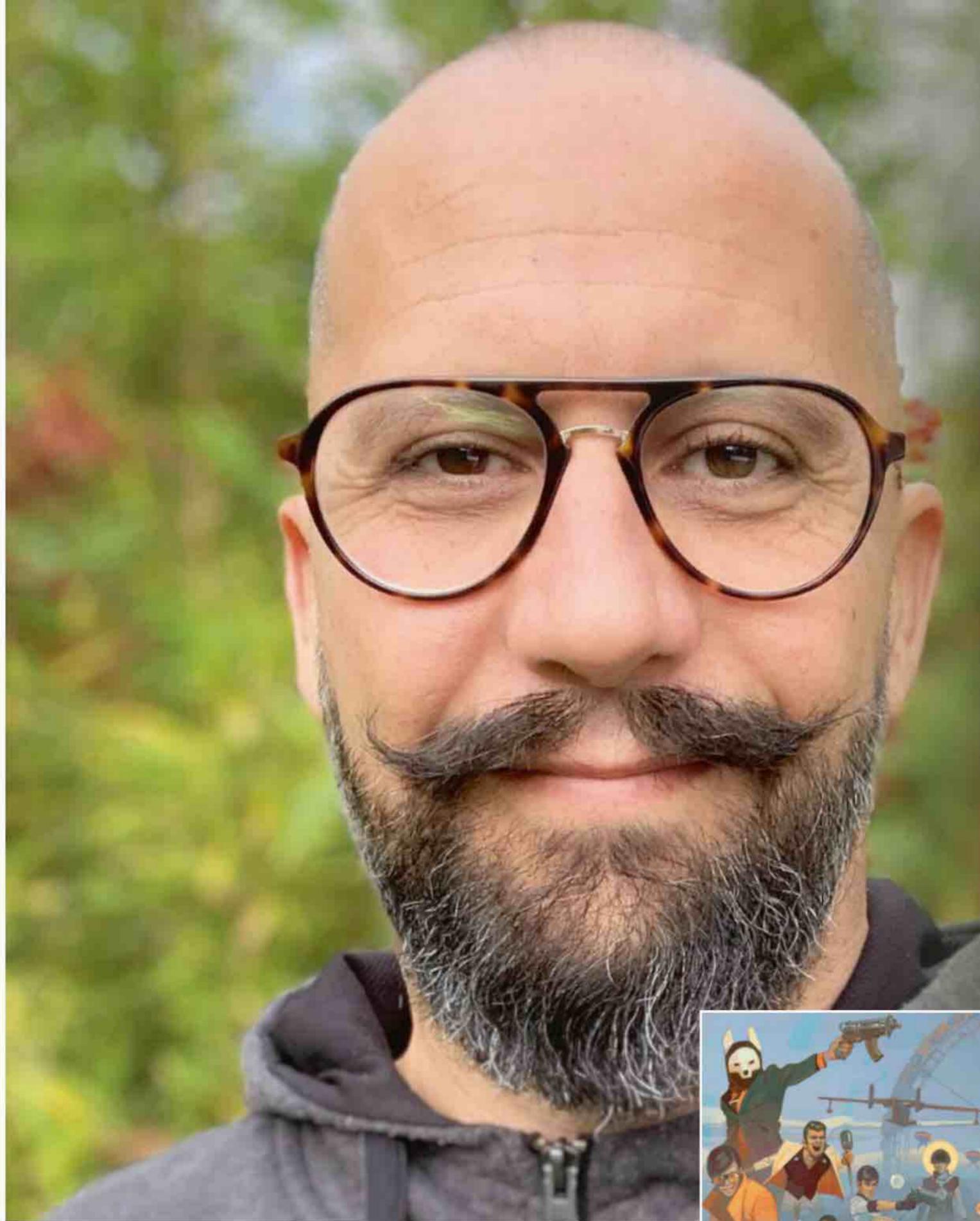
et choisir l'École Émile-Cohl (à Lyon également) qui forme au dessin animé, à l'illustration jeunesse... Cela ouvrait plus de portes que la publicité uniquement. Les cours étaient donnés par des professionnels des métiers de l'image ou des effets spéciaux, chez BUF [entreprise française pionnière des effets spéciaux en 3D au

« Au lycée, j'ai d'abord pensé faire carrière dans la publicité »

cinéma et en publicité, NDLR] à Paris ou chez Disney par exemple. Tout à coup, mon rêve de vivre du dessin devenait plus concret. Mes premières expériences professionnelles se sont faites dans la communication parce que depuis longtemps déjà je dessinais des prospectus, des affiches, des pochettes de disques.

CCM : Finalement, comment a démarré votre carrière dans le jeu vidéo ?

S. M. : Il y avait à Lyon, au début des années 2000, beaucoup de sociétés spécialisées dans le jeu vidéo : les éditeurs



BIO EXPRESS

1974

Naissance en mai à Lyon.

1997

Diplôme d'animation et d'illustration après cinq années à l'École Émile-Cohl de Lyon.

1998 - 2003

Diverses collaborations artistiques dans la communication et le jeu vidéo.

2004

Rejoint Arkane Studios à Lyon.

2012

Directeur artistique du jeu *Dishonored*, sur lequel il collabore avec l'illustrateur Viktor Antonov.

2018

Directeur artistique de *Dishonored 2*.

2021

Codirecteur créatif du jeu *Deathloop*.

© Illustrations : Arkane Studios / Bethesda, Photo : DR

« Au début des années 2000, Arkane était une entreprise secrète, dont aucune info ne sortait »

Infogrames [disparu en 2003, NDLR], Electronic Arts, et surtout de nombreux studios qui gravitaient autour. On m'a proposé un poste chez Eden Studios, spécialiste des jeux de course [V-Rally, NDLR], pour réaliser toutes les interfaces graphiques. Mais le travail n'était pas assez créatif pour moi. Alors je suis reparti dans la communication. Puis j'ai enchaîné des contrats pour des studios de jeux vidéo où

je dessinais des personnages. Tout le monde se connaissait à Lyon et le studio Arkane était considéré comme une entreprise secrète. On savait qu'ils faisaient des jeux « hypercool » comme *Arx Fatalis*, mais aucune information ne sortait du studio, on ne les voyait jamais. En 2004, un concours de circonstances m'a conduit à concevoir pour eux des décors... et je suis encore chez Arkane dix-sept ans plus tard.



CCM: Quels sont vos premiers outils de travail ?

S. M.: Grâce à ma famille, notamment mon père, tailleur, qui concevait les costumes de Claude Nougaro ou encore du maire de Lyon, j'ai baigné dans les tissus, les coutures, les costumes... Depuis, j'ai toujours une approche manuelle et tactile de l'objet, des formes. J'ai appris les logiciels 3D, le compositing vidéo [association d'images, NDLR], mais ce ne sont que des outils pour concrétiser ce qu'on a imaginé avant sur le papier. ...

Le développement de *Deathloop* a commencé sur PlayStation 4 avant de devenir une exclusivité PS5.

... **CCM: Quels départements sont sous votre responsabilité directe dans la création d'un jeu comme *Deathloop*?**

S. M.: Sur les précédents projets, je n'étais officiellement que directeur artistique. Sur *Deathloop*, je suis codirecteur créatif avec Dinga Bakaba. Nous sommes donc deux à la tête de ce que crée le studio, qui comprend environ 160 personnes chez Arkane Lyon. Dinga s'occupe de la partie narration, *game design* et *level design* [conception du gameplay et des situations de jeu, NDLR]. Je chapeaute les *character*, *concept* et *level artists* qui, eux, travaillent en parallèle avec les *level designers*. Ces derniers développent les idées de ce que le joueur sera amené à faire dans les décors, tandis que les *level artists* s'occupent de toute la partie architecturale, urbanisme, façadisme [l'apparence des façades d'immeubles, NDLR], éclairages, habillage des niveaux, etc. Je supervise aussi les bruitages et la musique avec notre directeur audio. Notre organisation n'est pas forcément représentative de celle des autres studios. Nous travaillons également avec des studios externes. Nous avons par exemple un ancien collaborateur associé avec d'autres artistes en Roumanie. À partir de nos références et modèles graphiques, photos, croquis, ils modélisent décors, armes, mobiliers, etc.



Fondé fin 1999 à Lyon par une équipe de passionnés, le studio Arkane jouit désormais d'une reconnaissance internationale. Depuis 2006, sa filiale installée à Austin (États-Unis) lui permet de développer deux projets en parallèle.

CCM: Pourquoi les jeux Arkane ont-ils un aspect dessiné ou pictural là où les grosses productions commerciales privilégient une approche photoréaliste plus générique?

S. M.: Parce que chez Arkane, nous créons complètement l'univers du jeu que nous inventons. Nos éclairages sont presque photoréalistes, mais la modélisation et le choix des textures vont plutôt vers l'illustré. Mes influences viennent de la pop culture d'abord, du cinéma, de la bande dessinée. Je montre souvent les films d'animation de Miyazaki à nos artistes pour qu'ils s'inspirent des aplats dessinés avant de créer un mur de briques, par exemple. Un mur de briques photoréaliste n'est pas très intéressant graphiquement, cela brouille les yeux et gêne la lecture du décor.

CCM: Au milieu des années 2000, vous avez développé plusieurs jeux vidéo en collaboration avec Steven Spielberg. Comment est-ce arrivé?

S. M.: Une cellule spéciale chez l'éditeur Electronic Arts



cherchait des spécialistes de l'action à la première personne. Nous avons répondu à l'appel à un moment où notre studio Arkane avait du mal à faire financer un projet. Surprise! Il s'agissait en effet de deux projets développés pour Steven Spielberg, qui voulait créer un jeu pour ses gamins! Un projet est devenu un jeu d'action-puzzle tout public Nintendo Wii baptisé *Boom Blox*. L'autre, du nom de code « LMNO », a finalement été avorté. Electronic Arts a abandonné un certain nombre de productions dites « risquées » à la suite d'une restructuration. Une anecdote? En prévision d'une présentation devant Spielberg du jeu en développement, nous avons glissé le camion-citerne de son premier film *Duel* (1971) à l'arrière-plan des décors. Il a été très étonné, il croyait avoir la berlue! Il a finalement été ravi de notre clin d'œil (*rires*).

Dans le jeu vidéo *Deathloop*, le joueur se retrouve prisonnier d'une journée qui se répète encore et encore, à la façon du film *Un Jour sans fin* (1993).



Étude de bâtiment pour le jeu *Dishonored 2*.

© Illustrations © Arkane Studios / Bethesda

« Je montre souvent les films d'animation de Miyazaki à nos artistes pour qu'ils s'en inspirent »

DÉCOUVREZ AUSSI...

ARGENT SANTÉ PRATIQUE BIEN-ÊTRE CUISINE DROIT

RÉPONSE À TOUT!

RÉPONSE À TOUT!

À GAGNER
2 SÉJOURS
POUR 4 PERSONNES
À RULANTICA
& EUROPA-PARK

VÉLO
Les dessous
d'un marché
florissant

CONSO
Payez votre
auto moins
cher en
Europe

CRYPTOMONNAIES
Formez-vous
avant de
débuter

COMPARATIF
Entre TV et
vidéoprojecteur,
faites le bon choix!

**Changer de vie,
mode d'emploi**

- ✓ Aides pour se lancer
- ✓ Business qui marchent
- ✓ Jobs qui recrutent

N° 379 - JANVIER 2022

TOUS POURRIS!

Quand nos aliments tournent mal...

Pain rassis, fruits moisis, salade flétrie, beurre rance... Peu de denrées échappent à l'altération si elles ne sont pas consommées rapidement ni conservées dans de bonnes conditions. Voici pourquoi.

Par Sylvie Redon-Clauzard

Ils étaient tout beaux, tout frais quand vous les avez rapportés dans votre cuisine. Mais parce qu'ils n'ont pas été mangés assez vite, ou qu'ils ont été mal conservés, voilà que vos fruits et légumes, vos filets de poulet ou vos steaks se retrouvent avec un aspect et une odeur suspects, voire repoussants. Normal! Les produits frais, les plats préparés, le pain... tous ces aliments sont périssables. Même les conserves, une fois entamées, doivent être terminées en quelques jours sous peine de devenir

immangeables, voire dangereuses. Qu'est-ce qui altère ainsi nos denrées? La plupart du temps, des micro-organismes: bactéries, levures ou champignons comme la moisissure (voir pp. 44-45). Mais ils ne sont pas seuls en cause.

Les enzymes en action

La biscotte, elle, ramollit en absorbant l'humidité de l'air, la nectarine se fripe et la salade se flétrit en perdant la leur... Ce qui se passe avant tout, c'est que fruits,

légumes, viandes et poissons sont issus d'organismes vivants, et donc constitués de cellules qui abritent des enzymes. Ces lipases, protéases, oxydases et autres «ases» sont des protéines qui déclenchent et accélèrent les diverses réactions chimiques dont la cellule a besoin pour fonctionner. Dans le cas des produits carnés, leur action ne s'arrête pas à la mort de l'animal. Les réactions enzymatiques participent justement à la maturation de la viande, en l'attendrissant, en l'acidifiant aussi. Mais parfois trop.



Et les fruits et légumes? « Ils sont encore vivants quand on les rapporte de nos courses. Ils vont donc continuer d'évoluer », prévient Catherine Renard, chercheuse au centre Inrae (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) de Nantes. Ainsi, de nombreux fruits dits climactériques, tels que la banane, la pomme, la poire ou la pêche, continuent de mûrir après la cueillette. Ils émettent de l'éthylène qui agit comme une hormone végétale: ce gaz déclenche dans les cellules la fabrication

De nombreux fruits continuent de mûrir après la cueillette

d'enzymes qui transforment l'amidon en sucre, produisent des arômes agréables, rendent le fruit moins ferme, mais aussi moins vert en détruisant sa chlorophylle. « C'est un phénomène autocatalytique, précise la spécialiste. L'éthylène émis par

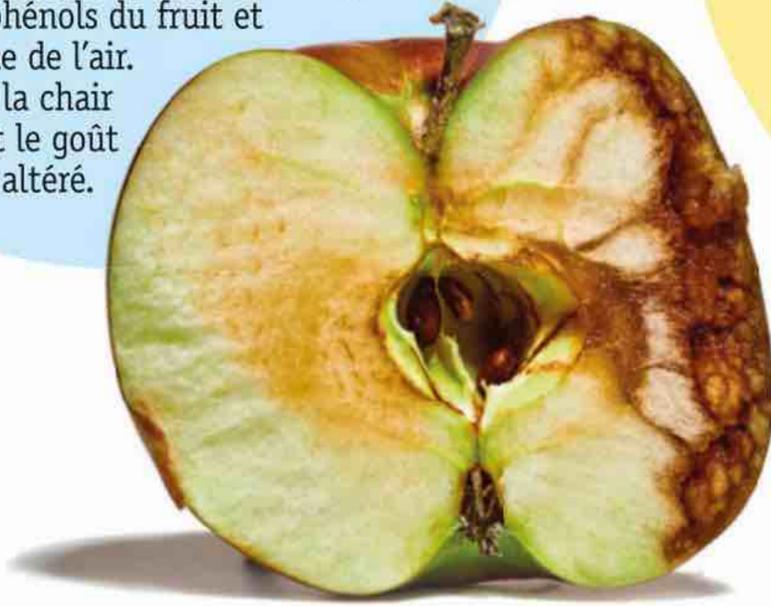
le fruit déclenche la production d'encore plus d'éthylène. » À la clé, un fruit qui parfois devient trop mûr et inconsommable. L'éthylène émanant d'un fruit peut même agir sur d'autres végétaux voisins, y compris ceux qui n'en produisent pas ou peu. Avec parfois des conséquences malheureuses, comme rendre les carottes amères, faire jaunir les brocolis, se ramollir les courgettes, les concombres ou la pastèque. Ou favoriser le pourrissement des bananes, des poireaux, des petits pois... Difficile d'échapper à la dégradation! 

© Getty

Quatre ennemis en cuisine

L'air

Son dioxygène fait rancir beurre, huile, noix, charcuterie et autres aliments gras. Il oxyde leurs acides gras insaturés (oméga 3 et 6...), qui ensuite se dégradent en un mélange de composés coupables de l'odeur piquante et de la saveur âcre typiques du rance. Autre défaut de l'air : il évente les produits dont il chasse les arômes volatils. Dans une pomme coupée ou meurtrie, des cellules se sont déchirées, mettant en contact les enzymes polyphénol oxydases avec les polyphénols du fruit et le dioxygène de l'air. Résultat : la chair brunit et le goût est altéré.

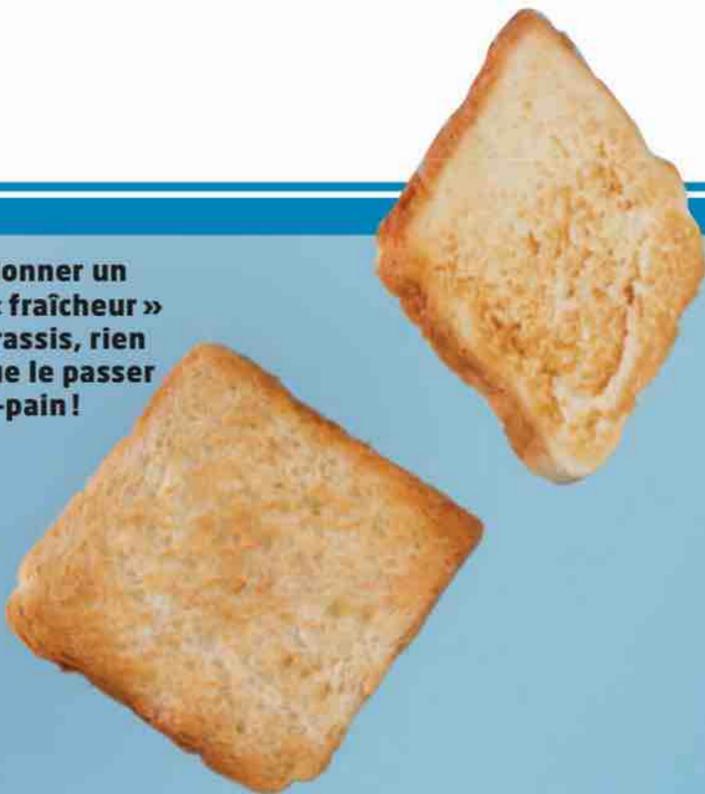


La lumière

Elle favorise certaines réactions chimiques, dont le rancissement. D'où les bouteilles teintées des huiles haut de gamme, l'emballage opaque du chocolat... Le lait aussi doit rester à l'abri de la lumière qui détruit ses vitamines A, C, B2 et B9. Une heure d'exposition au soleil, et c'est 10% à 30% de B2 et B9 en moins ! Quant à la pomme de terre, exposée au jour, elle prépare sa germination en fabriquant de la chlorophylle qui la fait verdir, mais aussi des composés amers et toxiques tels que la solanine pour repousser les éventuels brouteurs. Il faut enlever les germes et les zones vertes pour se débarrasser de ces substances nocives qui peuvent s'accumuler dans l'organisme.



Pour redonner un peu de « fraîcheur » au pain rassis, rien de tel que le passer au grille-pain !



Texture

L'inexorable vieillissement

Garde le pain frais est une croisade perdue d'avance. En milieu chaud et sec, il perd son humidité et durcit. À l'inverse, en milieu frais et humide, il devient caoutchouteux et élastique : il rassit ! Et ce phénomène est inéluctable. La mie du pain frais doit en effet sa souplesse à la façon dont se sont organisées - ou plutôt désorganisées - les longues molécules d'amidon lors de la cuisson de la pâte. Bien ordonnées les unes par rapport aux autres dans le grain de farine, elles sont, dans la mie, complètement dispersées et emprisonnent des molécules d'eau. Chimiquement parlant, la mie est un gel. « Mais cet état n'est pas stable, et sitôt sorties du four les molécules

Les chocs

Ils sont l'ennemi des œufs qui, dès que leur coquille est fissurée, ne sont plus protégés des attaques microbiennes. Et aussi des fruits. Quand un fruit reçoit un coup, les cellules sous la peau éclatent et libèrent leur contenu, déclenchant une cascade de réactions chimiques qui brunissent et ramollissent la chair. Les pommes golden sont si sensibles à la pression que l'on y voit parfois l'empreinte de la main du cueilleur. À l'endroit du choc, la peau déchirée ou juste fragilisée du fruit devient une porte d'entrée pour les moisissures.



Le froid

Pas de fruits tropicaux (bananes, mangues...) au frigo! Ils y contractent «la maladie physiologique du froid». «Les membranes cellulaires deviennent plus rigides, et leur travail est perturbé. Le froid est un stress qui conduit à des changements de métabolisme», explique la physico-chimiste Catherine Renard, de l'Inrae. Les bananes libèrent soudain de l'éthylène qui provoque leur mûrissement déséquilibré, avec la consistance et la couleur brune du fruit très mûr, sans les arômes et le goût sucré qui vont avec. Même chose pour les tomates: «Au frigo, elles évoluent sans gagner en saveur... et y perdent celle acquise au soleil».



du pain

d'amidon tendent à retrouver leur organisation, explique Thomas Teffri-Chambelland, biologiste et directeur de l'École internationale de boulangerie. Dans la mie fraîche, il y a assez d'eau pour qu'elles se déplacent. Alors, elles se réordonnent. » Le froid et l'humidité à l'intérieur d'un sac plastique accélèrent le rassissement. Aussi, pas de pain au frigo! Il y a tout de même un moyen de redonner un peu de croustillant au pain rassis: le passer au four ou au grille-pain, en l'ayant humidifié au préalable s'il a durci. « La chaleur fournira de l'énergie aux molécules d'amidon pour qu'elles se dispersent à nouveau, décrypte le spécialiste. Et la mie retrouvera un peu de son moelleux. »

Cette grosse mouche du genre *Calliphora* pond dans la viande ou les plats préparés. À l'éclosion des œufs, l'aliment grouillera d'asticots qui se nourriront sur place...



BON À SAVOIR: Dans les foyers français, on jette à la poubelle plus de 20 kg de denrées alimentaires par personne et par an, dont 43% de fruits et légumes, et 7 kg de produits encore emballés.

L'attaque des microbes



La conquête d'une tranche de pain

Comment, d'une spore invisible de champignon, en arrive-t-on à un duvet chevelu? Voici l'exemple de la colonisation d'une tranche de pain par *Rhizopus stolonifer*, ou moisissure noire du pain.

Les fraises et le fromage qui se couvrent de duvet blanc, le poisson qui soudain empeste, le filet de poulet couvert d'une pellicule visqueuse, le lait devenu aigre... Derrière toutes ces altérations se cachent soit des bactéries, soit des moisissures – champignons filamenteux formant un mycélium plus ou moins chevelu (voir infographie) –, soit des levures, des champignons unicellulaires. La contamination est inévitable, car les micro-organismes capables de s'en prendre à nos aliments sont partout. Dans le sol, dans l'air, dans les champs d'où proviennent fruits et légumes, dans les entrepôts de stockage... «L'animal vivant en héberge de nombreux, sur sa peau, dans son système digestif, détaille Marie-France Pilet, de l'unité de recherche Sécurité des aliments et microbiologie (Secalim) à Nantes. Même si l'on fait très attention à l'abattoir, certains passent sur les morceaux de viande. Le poissonnier qui évide un poisson transfère forcément des bactéries du tube digestif sur la chair. Le lait, lors de la traite, est contaminé par la flore microbienne des mamelles...»

Une seule bactérie suffit

Et même si cette contamination-là est supprimée, il s'en produit d'autres dans votre cuisine. «Vous ouvrez votre paquet de pain de mie, vous prenez une tranche, et deux jours plus tard vous constatez que ce qui reste est moisi... Le plus probable est que ce soient vos mains les responsables, car chez l'industriel, même si les procédés ne sont pas infallibles, le tranchage a eu lieu en salle blanche», autrement dit une pièce où la concentration de particules dans l'air est strictement contrôlée, décrypte •••

1. Ennemi invisible

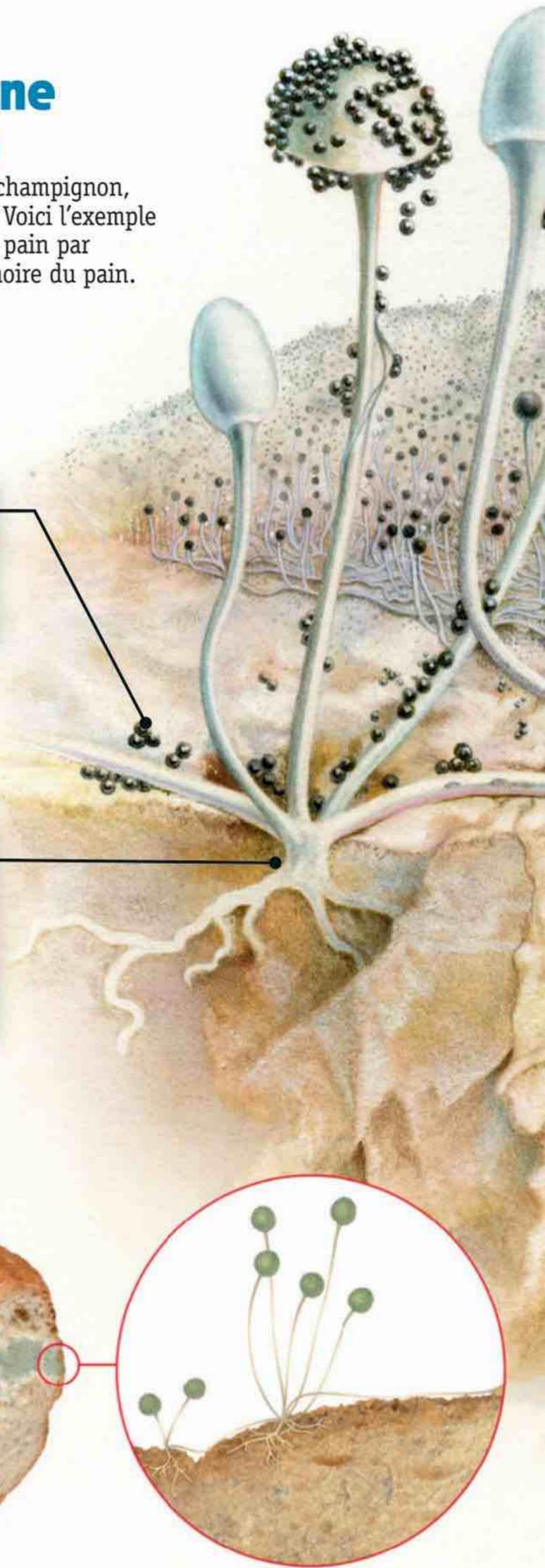
Tout démarre avec une spore, d'un centième de millimètre à peine. Elle a pu arriver là par les airs, par contact entre le pain et un légume contaminé...

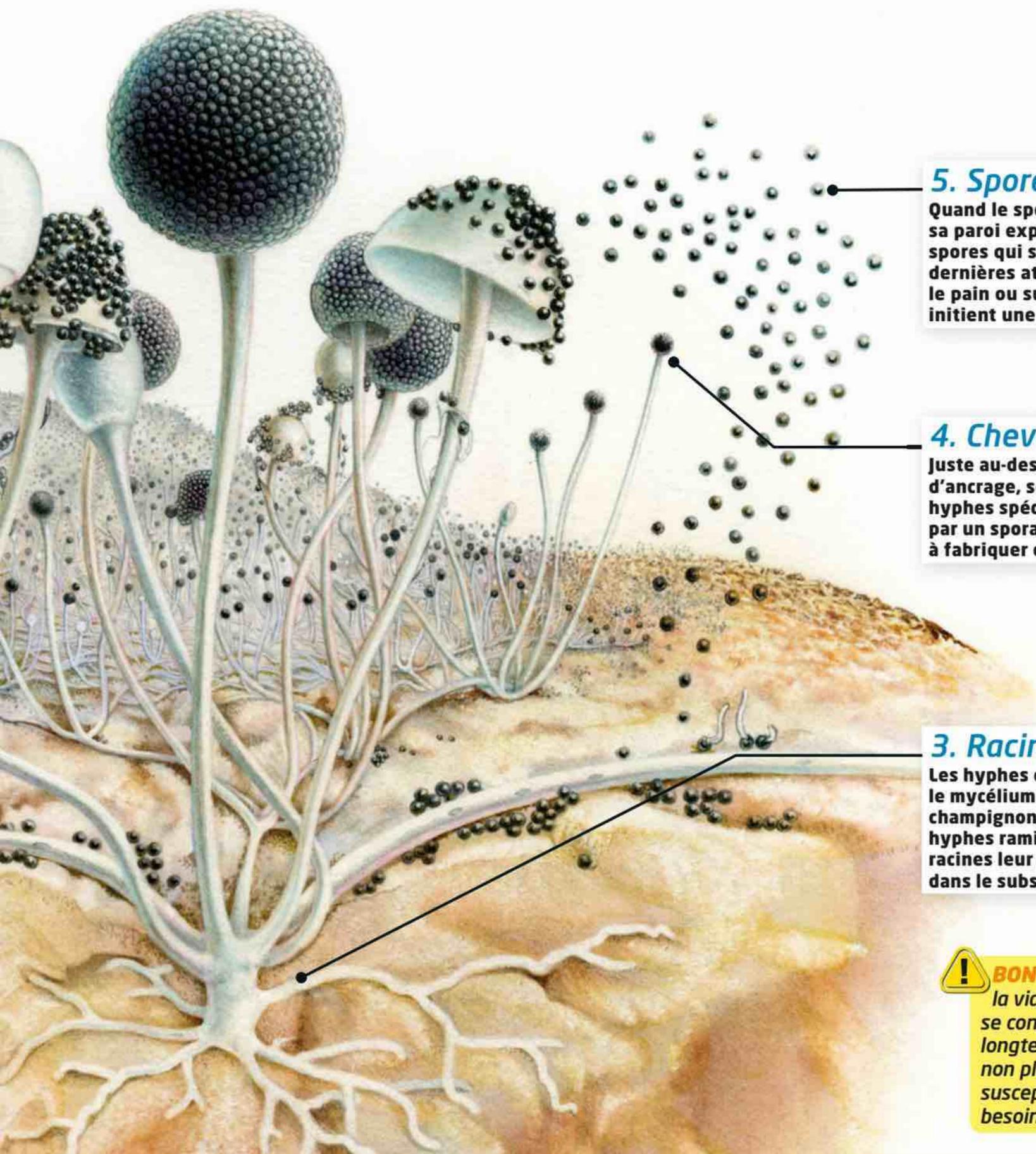
2. Filaments infiltrés

La spore germe et s'étire en longs filaments, ou hyphes, à la surface et à l'intérieur du pain. Les hyphes poussent et se nourrissent par leur pointe qui libère des enzymes dans le pain. Ces enzymes découpent en morceaux l'amidon afin que l'hyphe puisse l'absorber.



Rhizopus stolonifer colonise le pain mais abîme aussi de nombreux fruits et légumes; il y provoque une pourriture molle en profondeur et un petit duvet à l'extérieur.





5. Spores éparpillées

Quand le sporange est mûr (bien sombre), sa paroi explose sous la pression des spores qui s'y sont développées. Ces dernières atterrissent plus loin sur le pain ou sur un autre aliment, où elles initient une nouvelle colonisation.

4. Cheveux au vent

Juste au-dessus de ces points d'ancrage, se dressent des hyphes spéciales terminées par un sporange, sorte d'usine à fabriquer des spores.

3. Racines profondes

Les hyphes enchevêtrées constituent le mycélium. Spécificité des champignons de type *Rhizopus*: leurs hyphes ramifiées semblables à des racines leur permettant de s'ancrer dans le substrat qu'ils parasitent.



BON À SAVOIR: Sous vide, la viande et les plats traiteurs se conservent un peu plus longtemps - mais pas indéfiniment non plus - car beaucoup de bactéries susceptibles de les altérer ont besoin de dioxygène pour proliférer.

Santé

Est-ce toxique de manger un aliment visiblement avarié ?

« En général, les bactéries d'altération ne sont pas celles qui provoquent des toxi-infections graves, souligne la microbiologiste Marie-France Pilet. Et puis, leurs métabolites malodorants nous dissuadent de manger ou cuisiner le produit. » Et c'est tant mieux, car si elles ont pu se développer, de plus discrètes bactéries pathogènes pourraient avoir fait de même. Et pour les aliments moisissus ? « Tout dépend si le champignon causant l'altération fabrique des mycotoxines ou pas »,

précise Jérôme Mounier, responsable du groupe « Écosystèmes à composante fongique » au Lubem, à Brest. En effet, certaines espèces de *Penicillium* et d'*Aspergillus* synthétisent des substances qui, au-delà d'une certaine concentration, sont responsables d'intoxications aiguës, mais aussi, en cas d'exposition récurrente, de cancers ou de problèmes immunitaires.

L'ennui, c'est que le consommateur ne peut pas savoir à quelle moisissure il a affaire. Ni à quel point la toxine risque de s'être diffusée au-delà de

la zone touchée. Le spécialiste se veut néanmoins rassurant : « En général, enlever la partie moisie en étant un peu large suffit à éviter les mycotoxines. Et ce n'est pas manger un petit bout de moisi une fois qui va provoquer chez vous une infection aiguë ou un cancer. » Évidemment, le mieux reste encore de ne pas laisser ses courses moisir, en suivant les conseils de conservation (voir p. 47). Mais aussi en gérant bien ses stocks et en n'achetant pas plus que l'on ne va pouvoir consommer.

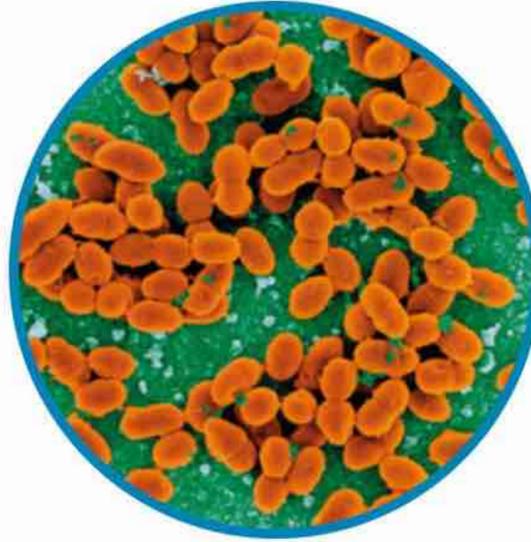
••• Emmanuel Coton, du Laboratoire universitaire de biodiversité et écologie microbienne (Lubem), à Brest. Une spore de champignon ou une seule bactérie suffit pour se retrouver en à peine quelques jours avec un aliment abîmé, voire infect. En se nourrissant dessus, le micro-organisme d'altération l'a transformé, y a laissé des métabolites (produits intermédiaires des réactions métaboliques) malodorants ou qui en changent le goût...

Le frigo, un bon allié

À ce petit jeu, les champignons générateurs de pourriture sont redoutables pour les fruits : tout en étendant leur mycélium, ils nécrosent en profondeur la chair du fruit qui brunit, se délite, parfois se liquéfie. Si certaines moisissures sont sélectives, d'autres mangent à tous les râteliers et colonisent aussi bien fruits secs que céréales, épices, laitages... « Leur atout est qu'elles peuvent se développer quasiment partout. Mais il leur faut en général plus de temps qu'aux bactéries pour produire des altérations, précise Marie-France Pilet. Ainsi, on les retrouve rarement sur les aliments offrant un milieu propice aux bactéries, à savoir les milieux riches en eau, ni trop salés, ni trop sucrés, ni trop acides, comme la viande, le poisson, les œufs, le lait... Pour ces produits-là, le risque microbien est avant tout bactérien. »

Le réfrigérateur est un bon outil pour limiter la prolifération des micro-organismes. Les levures et moisissures y fonctionnent en général au ralenti. Quant aux bactéries, beaucoup viennent de l'animal ; elles sont donc adaptées à sa température corporelle et arrêtent de se développer en dessous de 10 °C. « Mais attention, il y a quand même des bactéries très bien adaptées aux basses températures », alerte Marie-France Pilet. Comme les pseudomonas, agents de putréfaction des viandes et poissons. Elles hantent les frigos, et peuvent y contaminer des aliments sains... 📍

Beaucoup de bactéries sont d'origine animale et arrêtent de se développer en dessous de 10 °C



Si la plupart des bactéries ralentissent ou stoppent leur multiplication au frigo, d'autres, comme ces *Lactococcus piscium*, s'y plaisent et prolifèrent dans le poisson, la viande ou les plats sous vide, qu'elles peuvent, selon les cas, protéger d'autres attaques microbiennes ou au contraire dégrader.



À l'inverse, *Geobacillus stearothermophilus*, qui altère les conserves de légumes, ne se multiplie qu'entre 30 et 70 °C. C'est une bactérie sporulée : elle se transforme en spore pour résister au coup de chaud (plus de 90 °C), puis reprend sa forme et se multiplie lors du refroidissement.

Produits de la mer

Pourquoi le poisson périt si vite

« Il est frais mon poisson, il est frais ! » Si les poissonniers s'époumonent ainsi, c'est justement parce que les produits de la mer ne restent pas frais longtemps et sont encore plus périssables que la viande. Pourquoi ? « D'abord, ils sont souvent issus d'animaux vivant en eaux froides, donc porteurs de bactéries adaptées à des températures basses, et qui pourront se multiplier même au frigo », note la microbiologiste Marie-France Pilet. Et puis, coquillages et crustacés sont conservés,

et souvent consommés, entiers, avec leurs viscères et toute la flore bactérienne qu'ils contiennent. Enfin, la chair du poisson est riche en composés azotés qui, après la mort de l'animal, sont vite métabolisés, avec ou sans l'aide des bactéries, en substances nauséabondes telles que l'ammoniac, ou encore les méthylamines. La pire de toutes étant la triméthylamine qui sent justement... le poisson pourri !

! BON À SAVOIR : Si les moisissures apparues sur votre fromage sont vertes ou bleues, ne vous contentez pas de racler, taillez avec largesse le morceau à jeter !



Fermentation

Pour le meilleur et pour le pire

Les micro-organismes ne sont pas tous néfastes pour les aliments : sans *Penicillium roqueforti*, pas de roquefort ; sans *Penicillium camemberti*, pas de camembert ! Les levures *Saccharomyces cerevisæ* font lever le pain, transforment le raisin en vin. « Les yaourts ou encore le saucisson sec sont obtenus grâce à la fermentation du lait ou de viande par des bactéries lactiques. En acidifiant ces produits, elles y empêchent la prolifération d'autres bactéries et prolongent

leur durée de conservation », précise la spécialiste Marie-France Pilet. Suivant ce qu'il colonise, un même micro-organisme pourra d'ailleurs être considéré d'intérêt ou d'altération. « La bactérie *Zymomonas mobilis*, connue pour gâcher le cidre, intervient dans la fabrication du mezcal, l'alcool d'agave, note Emmanuel Coton, son confrère du Lubem de Brest. Inversement, *Penicillium roqueforti* devient champignon d'altération sur l'emmental râpé qu'il fait moisir. »

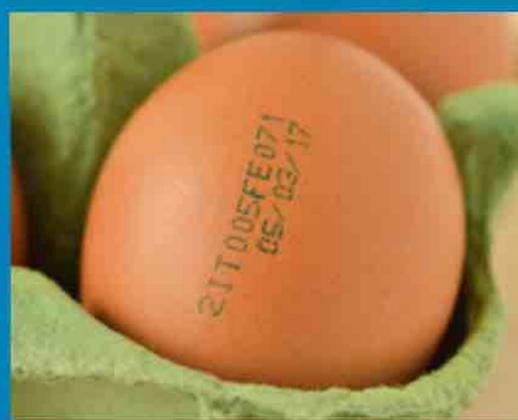
La poudre blanche sur le saucisson n'est pas de la farine, mais du *Penicillium nalgiovense*, une moisissure qui contribue à sa maturation et à son goût.



Risques

Faut-il jeter les aliments dont la date sur l'emballage est dépassée ?

Tout dépend si c'est une DLC (date limite de consommation) ou une DDM (date de durabilité minimale). La première est précédée de la mention « à consommer avant le » ou « à consommer jusqu'au ». Elle concerne les denrées risquant d'héberger des bactéries pathogènes qui, au fil du temps, se seraient suffisamment multipliées pour provoquer une toxi-infection. Certaines, comme le botulisme, la salmonellose ou encore la listériose, pouvant être très graves, la DLC doit être strictement respectée. Et ce, même si l'aliment paraît sain, car les microbes pathogènes, eux, sont en général invisibles, inodores et sans goût. Il n'y a que pour les vrais yaourts que l'on peut déborder de

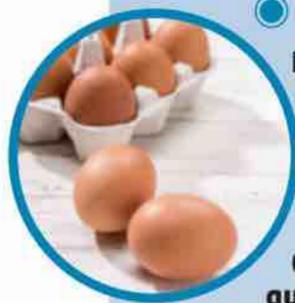


quelques jours, car leur acidité les protège des mauvaises bactéries. Quant à la DDM, elle est précédée d'un « à consommer de préférence avant ». Elle prévient qu'au-delà de la date indiquée, l'aliment peut avoir perdu de ses qualités gustatives ou nutritionnelles. Il peut donc être mangé. Néanmoins, si le bocal ne fait pas « pop » à l'ouverture, si la boîte de conserve est bombée ou si la nourriture dégage une odeur étrange, oui, la seule chose à faire est de jeter !

© Science Photo Library; Shutterstock

6 conseils de conservation

● Œufs



Ne lavez pas vos œufs avant de les stocker. Vous enlèveriez la cuticule invisible qui recouvre la coquille et la rendriez alors poreuse, plus sensible à la contamination bactérienne. Gare aussi aux chocs thermiques qui peuvent fissurer la coquille.

● Fraises



N'achetez vos fraises que vingt-quatre heures à l'avance. Elles sont fragiles et très sensibles aux moisissures. Et puis, attendre ne les fera pas mûrir : la fraise, tout comme la cerise, l'ananas, la pastèque, les agrumes ou encore le poivron, ne mûrit plus une fois cueillie.

● Beurre



Conservez le beurre loin de produits odorants comme l'ail, sinon il en prendra l'odeur. Les corps gras absorbent très facilement les molécules volatiles. L'idéal : un beurrier opaque et bien fermé.

● Viande et poisson



Dans le frigo, conservez viande et poisson dans des emballages hermétiques, ou au moins loin des légumes, surtout s'ils sont pleins de terre. La terre est un milieu riche en micro-organismes, dont des bactéries (y compris *Clostridium botulinum* qui cause le botulisme).

● Légumes



Ne les placez pas dans le même bac du frigo que des fruits qui produisent de l'éthylène (pomme, poire, fruit de la passion, melon...). Ce gaz n'est en général pas bon pour les légumes et précipite leur fin.

● Hygiène



Lavez-vous toujours les mains avant de cuisiner ou de toucher des aliments. Nettoyez votre frigo régulièrement, vos torchons et ustensiles... Ce sont des nids à germes d'altération (et pathogènes).

Températures: d'un extrême à l'autre

Par Corentin Paillassard

C'est quoi la température ?

La température décrit l'agitation des constituants de la matière. Elle est ainsi liée à l'énergie des éléments qui constituent un système : plus ils ont d'énergie, plus ils seront « agités » et plus la température sera élevée. À l'inverse, le zéro absolu correspond à l'état (théorique) où les atomes et molécules seraient complètement immobiles. Dans les équations de la thermodynamique, la température est donc liée à l'entropie, qui quantifie le « désordre » à l'échelle microscopique.

Quelles sont ses unités de mesure ?

À l'exception de quelques nations comme les États-Unis ou les îles Caïmans, qui mesurent les températures en degrés Fahrenheit (°F), tous les autres pays utilisent - au quotidien - le degré Celsius (°C). Cependant, le Système international définit, lui, la température en kelvins, notés « K ». Il suffit d'ajouter 273,15 à une température en degrés Celsius pour obtenir son équivalent en kelvins. 0 K correspond ainsi à $-273,15^{\circ}\text{C}$, le « zéro absolu ».

Zéro absolu
 $-273,15^{\circ}\text{C}$

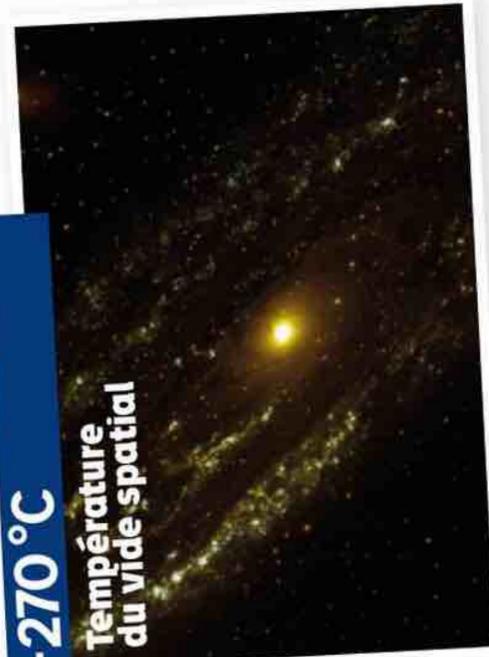
-272°C

Endroit naturel le plus froid de l'Univers

Il s'agit de la nébuleuse du Boomerang, située à 5 000 années-lumière de la Terre.

-270°C

Température du vide spatial



-196°C

Azote liquide

Il est utilisé principalement dans l'industrie et les laboratoires.



-18°C

Congélateur domestique

$14,9^{\circ}\text{C}$

Température moyenne de la Terre en 2020

Il s'agit d'une des années les plus chaudes jamais enregistrées, principalement en raison du changement climatique d'origine humaine.

Degrés Celsius

-94°C

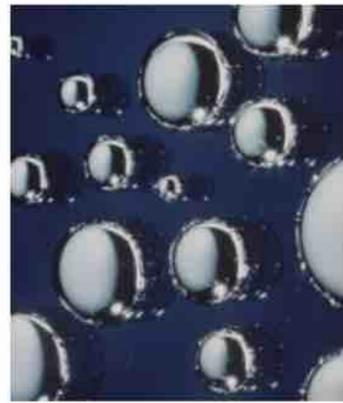
Plus basse température de l'air enregistrée sur Terre

Dans certaines parties de l'Antarctique, le thermomètre descend régulièrement sous les -90°C .

-39°C

Solidification du mercure

Le mercure est un métal qui reste liquide jusqu'à -39°C . Il a longtemps été utilisé dans les thermomètres avant d'être interdit à cause de sa toxicité.



0°C

Solidification de l'eau en glace

Autour de 37°C

Température du corps humain

On observe une diminution de cette moyenne, peut-être à cause des changements de mode de vie.

100°C

Ébullition de l'eau

1500°C

Flamme blanche d'une bougie

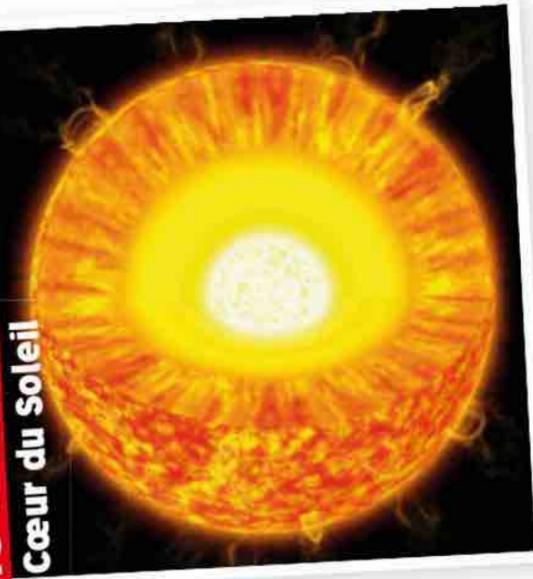
4 000°C

Limite de l'état solide

C'est la température qui semble être la plus élevée possible pour un solide. Seuls certains matériaux comme le carbone, le carbure de tantale ou d'hafnium ont leur point de fusion dans cette zone.

15 millions de degrés

Cœur du Soleil



80,8°C

Plus haute température au sol enregistrée sur Terre

Ce record a été établi dans deux déserts en 2019, celui de Sonora (Mexique) et celui de Lut (Iran). Les records de l'air sont plutôt autour de 55°C, dans la vallée de la Mort (États-Unis).

220°C

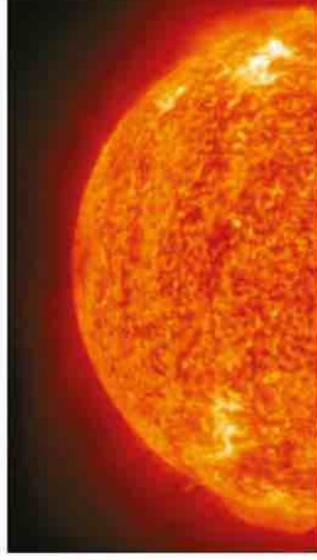
Four à pizza

1538°C

Point de fusion du fer

5 500°C

Surface du Soleil



5 500 milliards de degrés

Température artificielle la plus haute jamais atteinte

Dans le Grand collisionneur de hadrons (LHC), les scientifiques du Cern font se percuter à très grande vitesse des ions de plomb très lourds : ils libèrent alors tellement d'énergie que la température dépasse presque tout ce que nous connaissons.



1,42 x 10³²°C : température de Planck

142 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 °C

C'est la température maximale théorique définie par la physique actuelle. Elle aurait été atteinte par l'Univers 10⁻⁴³ seconde après le big bang.

POLAR POD

Un navire vertical à la découverte de l'océan Austral



Cette drôle de plateforme habitée, sans moteur, va s'aventurer pendant trois ans à l'autre bout du monde, sur cet immense océan de tempêtes encore méconnu qui encercle l'Antarctique, pour y réaliser des observations scientifiques. Une expédition digne de Jules Verne.

Par Lise Gougis

C'est le cauchemar des navigateurs. Un immense couloir situé à 50 degrés de latitude sud, au cœur de l'océan Austral, que l'on nomme les « cinquantièmes hurlants ». Et pour cause : c'est dans cette zone que naissent les tempêtes les plus

mémorables et des vagues immenses, pouvant dépasser les 20 mètres de hauteur. Sans compter que l'eau y est très froide, entre -2°C et 10°C , et les icebergs jamais très loin. Si bien que cet anneau océanique de 20 000 kilomètres de circonférence, qui réunit autour de l'Antarctique les eaux de l'Atlantique, de l'Indien

et du Pacifique sans rencontrer aucune masse continentale, reste mal connu.

Pour l'heure, les scientifiques ne s'y aventurent qu'en été, quand les conditions météo sont plus favorables, pour effectuer des campagnes océanographiques. Et malgré le développement des satellites et d'équipements comme des



Fin 2023, le *Polar Pod* (ici en image de synthèse) sera remorqué jusqu'au courant circumpolaire antarctique, avant de se laisser dériver.

flotteurs dérivants, des voiliers autonomes ou des capteurs sur des animaux marins, toutes les publications arrivent à la même conclusion : il faut des mesures *in situ* de longue durée et en toutes saisons dans le quatrième océan de la planète en superficie (35 millions de kilomètres carrés). Car celui-ci joue un rôle majeur ...

CALENDRIER

Janvier 2022 : début de la construction du *Polar Pod*

Mai 2023 : fin du chantier

Juin à septembre 2023 : mise à l'eau pour des essais

Décembre 2023 : départ de l'expédition

2026 : retour du *Polar Pod*

••• dans l'équilibre climatique. Ses eaux agitées absorbent la moitié du gaz carbonique intégré par l'ensemble des océans. Ce qui en fait le principal puits de carbone océanique.

Inspiré d'un navire de la guerre froide

Mais comment séjourner pendant des mois sur cet océan hostile dans de bonnes conditions? C'est le défi que s'est lancé l'explorateur Jean-Louis Étienne en 2010 (voir encadré p. 55). « Dans un premier temps, j'avais pensé y aller avec une immense bouée, une sorte de chambre à air colossale de 100 mètres de diamètre », se remémore-t-il. Il confie alors son projet aux ingénieurs du cabinet d'architecture navale Ship-ST de Lorient. Ces derniers estiment qu'une telle structure ne tiendrait pas le choc, mais l'incitent à conserver le tube central de la bouée et à s'inspirer d'un navire américain construit en 1962 pour écouter les sous-marins dans le Pacifique durant la guerre froide: le *Flip* (pour *Floating Instrument Platform*). Ses particularités? Il est silencieux et peut basculer en position verticale. À San Diego (États-Unis), où la structure a été ensuite utilisée par des chercheurs qui y ont installé une multitude d'instruments, Jean-Louis Étienne a pu récupérer ses plans et les envoyer au cabinet Ship-ST. « C'est grâce aux petits secrets du *Flip* qu'on a pu concevoir le *Polar Pod* », résume-t-il.

Sa structure en treillis limite la surface du vaisseau soumise à l'impact des vagues

Au terme de dix années d'efforts, le design de ce drôle de vaisseau rouge en acier reprend en effet le principe du *Flip* en le modernisant: il y a toujours la grande structure verticale, de 100 mètres de hauteur, sauf qu'à la place d'un tube plein, les ingénieurs ont opté pour un treillis qui permet aux vagues de passer facilement au travers. En limitant ainsi la surface du vaisseau soumise à l'impact des vagues, ils lui font gagner en stabilité. Avec 80 mètres de tirant d'eau et 150 tonnes de lest, les huit membres à bord, juchés sur une plateforme de plusieurs étages à 15 mètres au-dessus •••

Vue extérieure du *Polar Pod*

Antenne

Des capteurs disposés sur toute la structure du *Polar Pod* permettront de prendre des mesures atmosphériques (température, humidité, vent...) et sous-marines (salinité de l'eau, vitesse des courants, taux de CO₂...). Des hydrophones (microphones aquatiques) fonctionneront en continu à plus de 75 m de profondeur pour capter les bruits du monde sous-marin. Tout un arsenal complété par des robots sous-marins.

Voiles

Sans motorisation, le *Polar Pod* est un navire silencieux qui va dériver en suivant le flux du courant circumpolaire. Soumis à des vents contraires, il ne suivra pas une trajectoire rectiligne. Grâce à ses voiles, il sera capable d'infléchir son cap pour s'éloigner des potentiels icebergs présents sur sa route.



Avec ses 100 m de hauteur, le *Polar Pod* dépassera de 7 m la statue de la Liberté.

Vue intérieure de la nacelle

Électricité

Des éoliennes de 3,2 kW et des cellules photovoltaïques assureront la production d'électricité, qui sera stockée par des batteries. De quoi alimenter les équipements scientifiques, l'éclairage, les télécommunications, l'informatique, le dessalement de l'eau de mer, l'eau chaude et la cuisine. Et grâce à la performance de son isolation thermique, le *Polar Pod* sera un habitat à énergie positive : il produira plus d'énergie qu'il n'en consommera.

Nacelle

La structure sera en aluminium et la coque extérieure en acier spécial pour encaisser les plus violentes tempêtes.

Tirant d'eau

Pour échapper à l'agitation des vagues dans l'océan Austral, il faut que la partie immergée du bateau soit suffisamment longue pour être prise dans les eaux profondes, et que la surface soumise à l'impact des vagues soit faible. Avec un tirant d'eau de 80 m et un lest de 150 t au fond, ce navire vertical sera donc très stable. D'autant que son architecture a été conçue pour ne pas entrer en résonance avec la houle : les jambes du treillis, en acier de 38 à 50 mm d'épaisseur, permettront aux vagues de passer facilement au travers.

À quoi ressemblera la vie à bord

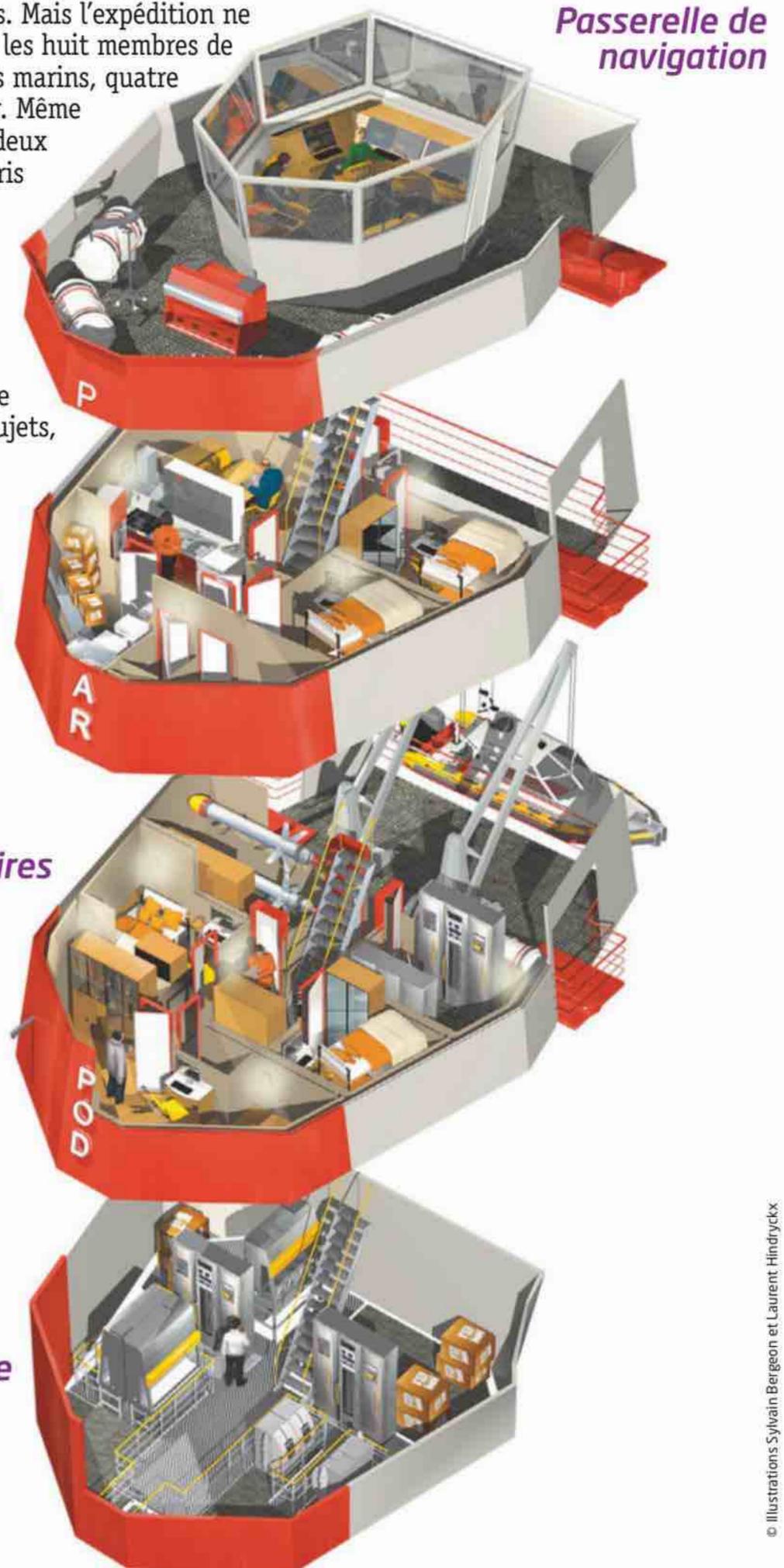
L'espace habitable du *Polar Pod*, perché à 15 mètres au-dessus de la surface de l'eau, a été pensé pour être suffisamment confortable. Il sera composé de quatre étages de 80 m² sur lesquels se répartiront la passerelle de navigation tout en haut, puis l'étage de vie avec des cabines et une cuisine, des laboratoires et enfin un espace technique pour la production d'eau douce et le traitement des eaux usées, entre autres. Mais l'expédition ne sera pas de tout repos pour les huit membres de l'équipage, composé de trois marins, quatre scientifiques et un cuisinier. Même s'ils seront relevés tous les deux mois, ils devront être aguerris aux longs séjours en haute mer et maîtriser les divers instruments de mesure mis à leur disposition. L'équipe à bord sera accompagnée à tout moment par une cellule à terre, constituée de spécialistes des différents sujets, qui se relaieront.

Passerelle de navigation

Étage de vie

Laboratoires

Espace technique



••• de l'eau, ne seront pas autant ballotés que sur un bateau classique. De quoi même affronter les vagues scélérates, de véritables murs d'eau qui viennent heurter les navires. «Le *Polar Pod* aura la même résistance que les plateformes pétrolières en mer du Nord», assure Jean-Louis Étienne. Et s'il devait faire face à une vague cinquantennale, estimée à 38 mètres par des algorithmes (mais jamais observée jusqu'ici), il se coucherait puis reviendrait à la verticale.

À la dérive d'ouest en est

Pour éviter de potentiels icebergs sur sa route, le vaisseau sera équipé de voiles lui permettant d'infléchir son cap. Car l'autre particularité du *Polar Pod*, c'est qu'il n'est pas motorisé: il se laissera porter d'ouest en est à une vitesse moyenne de 1 nœud (1,8 km/h) par le courant circumpolaire. Ce qui en fait un navire zéro émission et silencieux, l'idéal pour les chercheurs qui pourront ainsi se fondre dans l'océan en toute discrétion. «Nous pourrons réaliser des mesures précises et dans de bonnes conditions, notamment acoustiques, sans perturber le milieu océanique et ce pendant toutes les saisons», souligne David Antoine, le coordinateur du programme scientifique et directeur de recherche au CNRS. Ce véritable laboratoire flottant sera équipé d'hydrophones, des micros sous l'eau de grande sensibilité, pour capter l'univers sonore sous-marin, ainsi que d'une multitude de capteurs.

Une fois sa construction achevée, en mai 2023, et après des essais au cours de l'été, le *Polar Pod* sera remorqué à l'horizontale à plus de 600 kilomètres au sud-est de l'Afrique du Sud jusqu'au courant circumpolaire antarctique pour le départ de l'expédition en décembre. Il basculera alors à la verticale par ballastage. Et, telle une girouette, il se laissera dériver, pour une aventure scientifique extraordinaire de trois ans. 📍

Le navire sera zéro émission et silencieux, idéal pour se fondre dans l'océan en toute discrétion



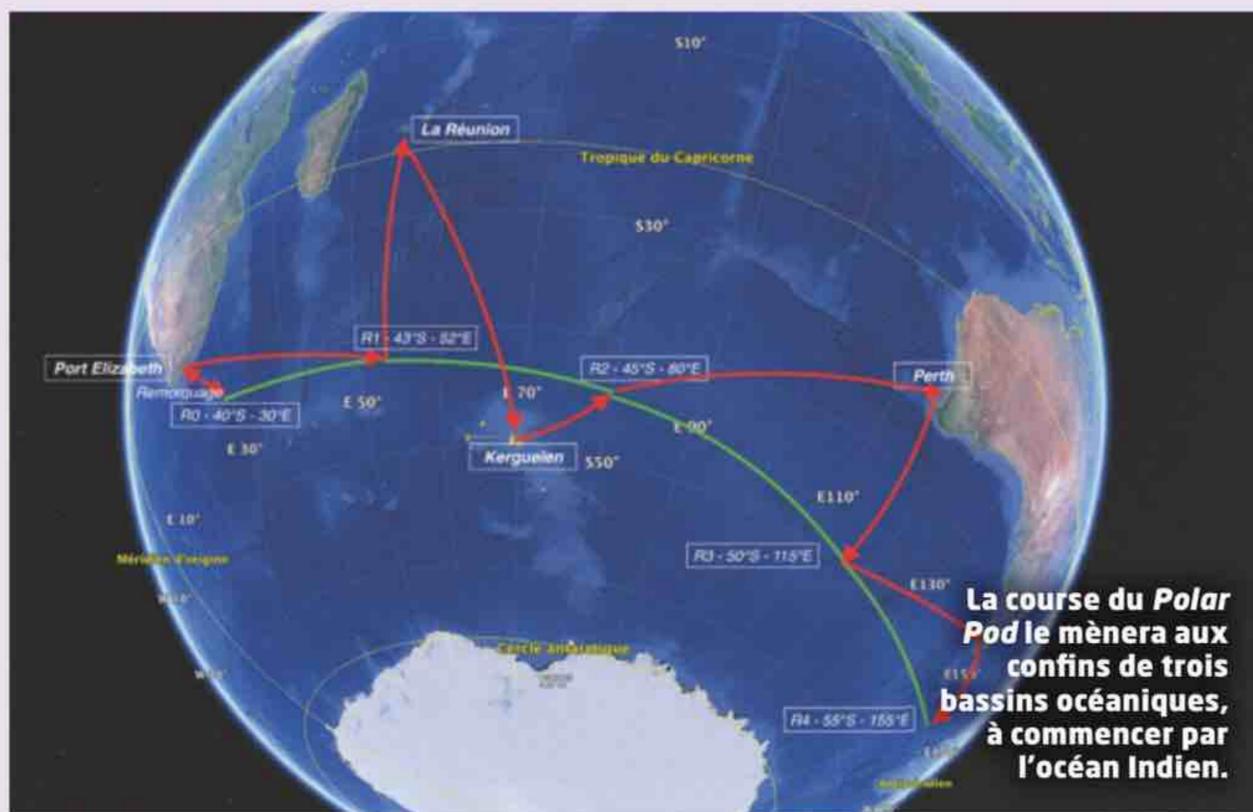
Le *Polar Pod* est conçu pour résister à des vagues de 38 mètres: il se coucherait avant de revenir à la verticale.



Une relève tous les deux mois

Le *Polar Pod* fera deux tours du pôle Sud (*parcours en vert sur la carte*), entraîné par le courant circumpolaire entre 50° et 55° de latitude sud. Son équipage sera relayé tous les deux mois grâce à un navire ravitailleur spécialement conçu pour cette mission, qui partira du port le plus proche pour rejoindre le vaisseau (*trajets en*

rouge). Ce dernier apportera également du matériel et de la nourriture. Pour que ces opérations se déroulent en toute sécurité en pleine mer, les petits bateaux pneumatiques qui feront le relais avec le *Polar Pod* embarqueront depuis l'arrière du navire ravitailleur. Ils rejoindront le pied du *Polar Pod*, sous la passerelle, où le matériel sera treuillé.



La course du *Polar Pod* le mènera aux confins de trois bassins océaniques, à commencer par l'océan Indien.



Le vaisseau sera remorqué depuis l'Afrique du Sud vers le point de départ de l'expédition.

Portrait

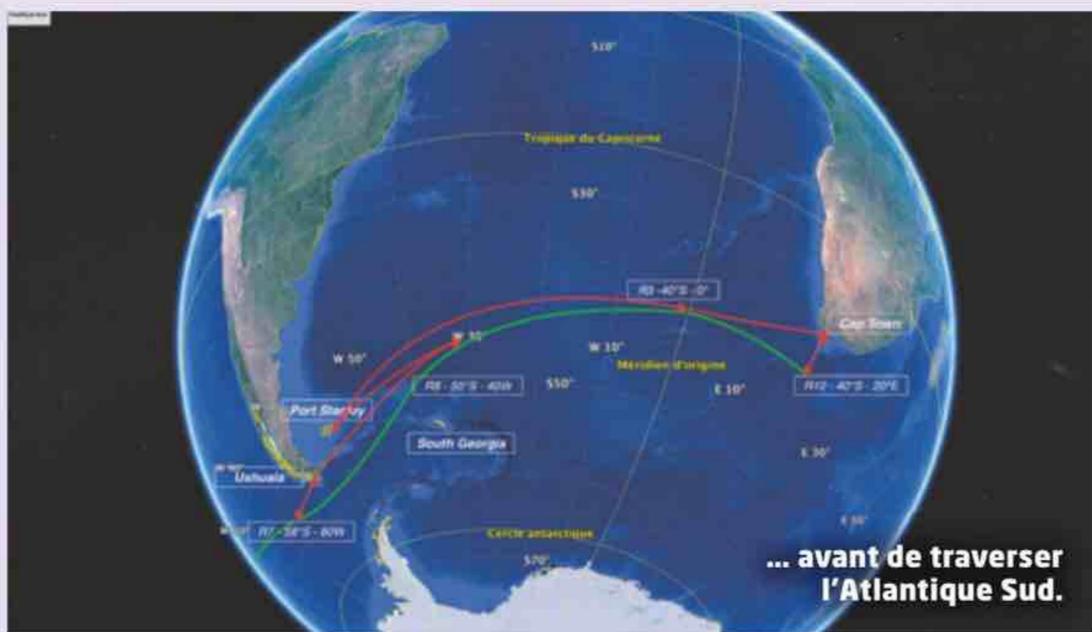
Jean-Louis Étienne, un pionnier de l'exploration polaire



« **T**oujours maintenir le rêve à la surface » : telle est la devise de ce Tarnais porté depuis son plus jeune âge par l'univers de Jules Verne. Après avoir reçu une formation de tourneur-fraiseur, Jean-Louis Étienne se tourne finalement vers la médecine. Il devient médecin d'expédition, réalisant ainsi son rêve : arpenter le monde. De l'Himalaya à la Patagonie en passant par le Groenland, ce passionné d'alpinisme est attiré par le froid. Et les défis un peu fous. En 1986, il est le premier homme à atteindre le pôle Nord en solitaire après soixante-trois jours de marche sur la banquise. Un exploit suivi d'un autre, entre 1989 et 1990, quand, dans le cadre de l'expédition Transantarctica, il réalise la plus longue traversée de l'Antarctique en traîneau à chiens : 6 300 km en sept mois. Il embarque ensuite pendant dix ans à bord de l'*Antarctica* pour explorer les régions polaires et comprendre le rôle qu'elles jouent dans l'équilibre du climat. En 2010, c'est par les airs cette fois qu'il traverse le pôle Nord, en ballon. Avec le *Polar Pod*, il reprendra la direction du pôle Sud en décembre 2023. « J'accompagnerai sans doute la première équipe. Et j'espère bien y retourner pour la fin de l'expédition en 2026 ! » s'enthousiasme l'infatigable explorateur, qui aura alors 80 ans.



Il continuera d'ouest en est sur l'océan Pacifique...



... avant de traverser l'Atlantique Sud.

Les grands objectifs scientifiques de l'expédition

Pensé comme un outil au service de la recherche, le *Polar Pod* est au cœur d'un vaste projet international coordonné par le CNRS, impliquant quarante-trois institutions de douze pays. Ce programme s'articule autour de quatre principaux objectifs.

1

Observer les échanges atmosphère-océan

L'océan Austral constitue une super pompe à carbone, absorbant 50% du CO₂ intégré par l'ensemble des océans de la planète. Un processus qui s'explique en partie par sa température variant entre -2°C et 10°C, laquelle accroît la dissolution du dioxyde de carbone, et par ses tempêtes qui mélangent ses eaux de surface et celles de profondeur, entraînant le CO₂ vers le fond. Cependant la quantification de ces échanges et l'ensemble de leurs mécanismes ne sont pas bien connus. L'objectif est donc de mesurer les performances du principal puits de carbone océanique de la planète, mais aussi d'analyser les échanges d'aérosols, de matières et de chaleur au niveau des tourbillons très actifs entre la surface et les profondeurs.

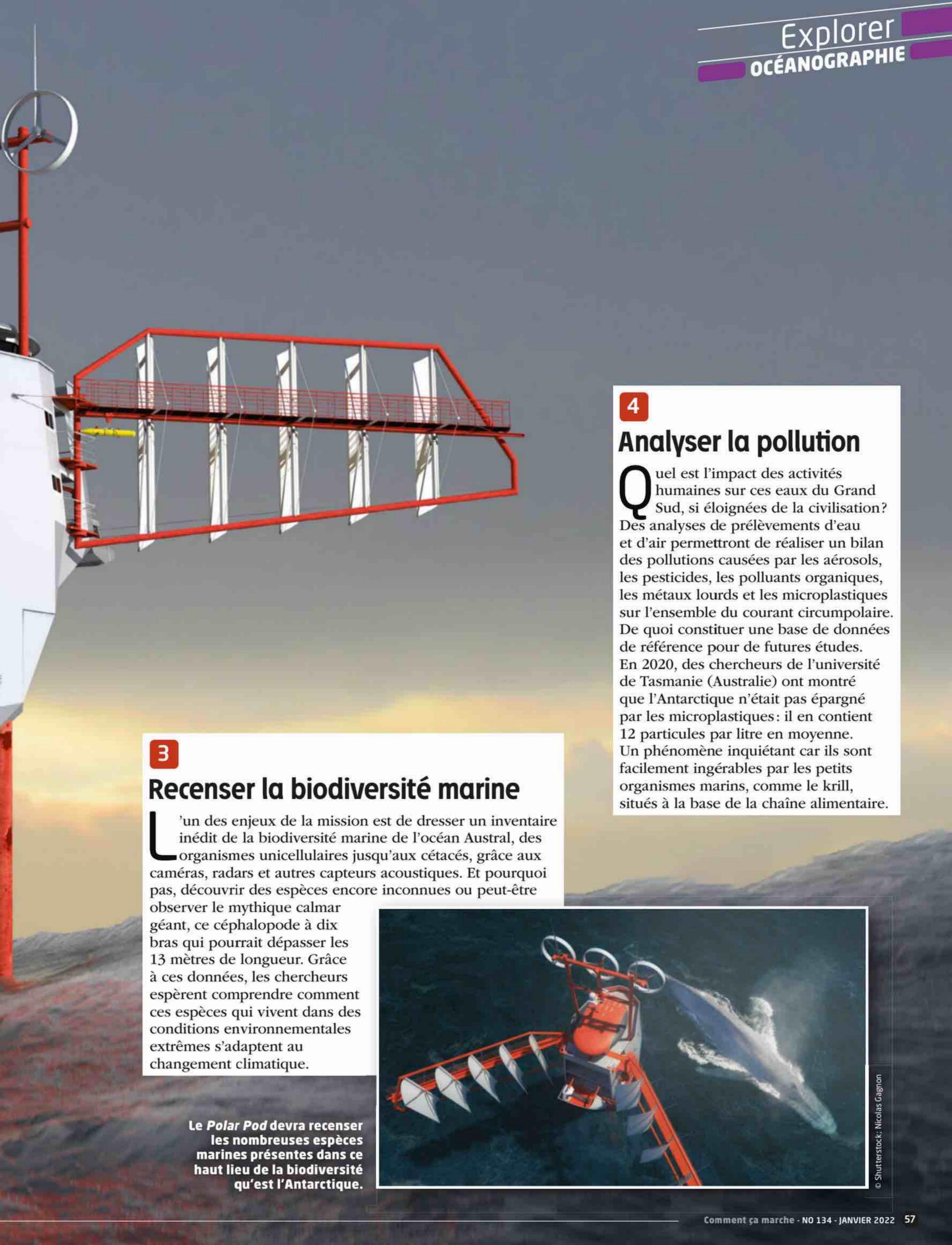
2

Vérifier les mesures effectuées par satellite

L'observation satellitaire est très utile pour avoir un aperçu des conditions météo dans cet océan difficile d'accès. Des données *in situ* sont toutefois nécessaires pour vérifier que ces satellites continuent à fournir des mesures de qualité et bien les calibrer en conséquence. Il s'agira d'observer le vent, les vagues ou encore la couleur de l'eau, qui reflète la qualité du phytoplancton. Les résultats pourront considérablement enrichir les bases de données existantes, d'autant que des hydrophones fonctionneront en continu, à plus de 75 mètres de profondeur, pour enregistrer l'impact sonore de la météo de surface, des tremblements de terre ou des craquements d'icebergs.

Les satellites de surveillance météo (ici, l'un d'eux survolant un ouragan) fournissent des données sur les océans qu'il est utile de compléter par des observations sur place.





3

Recenser la biodiversité marine

L'un des enjeux de la mission est de dresser un inventaire inédit de la biodiversité marine de l'océan Austral, des organismes unicellulaires jusqu'aux cétacés, grâce aux caméras, radars et autres capteurs acoustiques. Et pourquoi pas, découvrir des espèces encore inconnues ou peut-être observer le mythique calmar géant, ce céphalopode à dix bras qui pourrait dépasser les 13 mètres de longueur. Grâce à ces données, les chercheurs espèrent comprendre comment ces espèces qui vivent dans des conditions environnementales extrêmes s'adaptent au changement climatique.

Le Polar Pod devra recenser les nombreuses espèces marines présentes dans ce haut lieu de la biodiversité qu'est l'Antarctique.



4

Analyser la pollution

Quel est l'impact des activités humaines sur ces eaux du Grand Sud, si éloignées de la civilisation? Des analyses de prélèvements d'eau et d'air permettront de réaliser un bilan des pollutions causées par les aérosols, les pesticides, les polluants organiques, les métaux lourds et les microplastiques sur l'ensemble du courant circumpolaire. De quoi constituer une base de données de référence pour de futures études. En 2020, des chercheurs de l'université de Tasmanie (Australie) ont montré que l'Antarctique n'était pas épargné par les microplastiques: il en contient 12 particules par litre en moyenne. Un phénomène inquiétant car ils sont facilement ingérables par les petits organismes marins, comme le krill, situés à la base de la chaîne alimentaire.

Le grand boom de la MYOPIE



Dans le monde, on assiste à une véritable épidémie... de myopie. Gros plan sur ce phénomène dont les causes, notamment environnementales, commencent tout juste à s'éclaircir.

Par Muriel Valin

Les chiffres sont stupéfiants : en France, 37 % des adultes sont myopes, c'est-à-dire ont des difficultés à voir de loin, alors qu'ils étaient à peine 20 % dans les années 1970. Et au moins un enfant sur cinq est concerné. Ces résultats proviennent de la plus grande étude à ce sujet réalisée dans l'Hexagone, en 2019, par le CHU de Poitiers et l'entreprise Krys, à partir de données recueillies sur 4 millions de personnes. Ils sont sans appel, mais font écho à un phénomène qui dépasse largement nos frontières. Partout ou presque sur le globe, les chiffres sont identiques, voire pires. Ainsi, dans certaines régions de Chine et à Singapour, on trouve jusqu'à 85 % de myopes dans la tranche d'âge autour de 20 ans ! Pis, les projections pour

les décennies à venir sont alarmantes : une étude réalisée en 2016 par une équipe australienne et publiée dans la revue *Ophthalmology* a estimé que d'ici à 2050, la moitié de la population mondiale serait myope. Soit 5 milliards de personnes. Une véritable épidémie !

Pas seulement héréditaire

Comment expliquer ce phénomène ? Les raisons de cette flambée font actuellement l'objet d'études multiples. On sait déjà depuis plusieurs années que la myopie est un phénomène héréditaire. Une étude australienne a montré, dès 2007, que la myopie chez l'un des parents doublait le risque pour un enfant d'être lui aussi atteint de ce trouble. Ce risque

serait même multiplié par huit lorsque les deux parents sont myopes. En cause, une vingtaine de gènes (situés notamment sur le chromosome 15).

Ce facteur héréditaire ne suffit toutefois pas à expliquer l'ampleur du boom de myopie auquel on assiste. Depuis le début des années 2010, un autre phénomène commence à être pointé du doigt : l'environnement. Plus précisément, le manque d'exposition à la lumière naturelle. Par un mécanisme qui n'est pas encore bien décrypté, la myopie pourrait se développer davantage chez les enfants qui ont tendance à rester enfermés et sont donc peu en contact avec la lumière du soleil. Une exposition insuffisante pourrait contribuer à ce que leur œil s'allonge (*voir dessin*), aggravant la myopie. Un autre

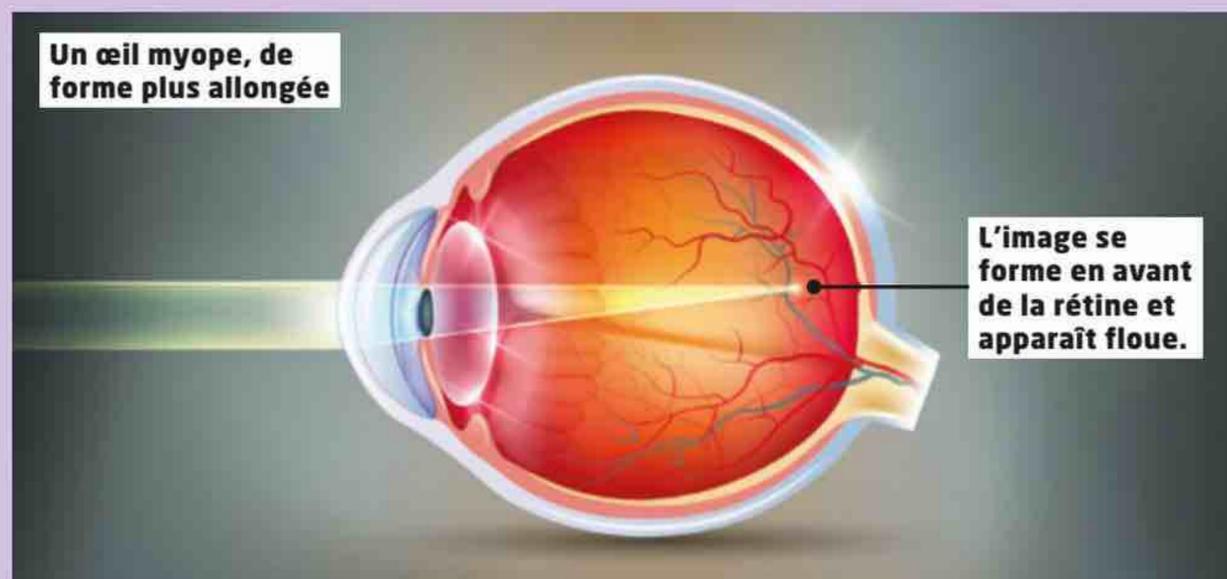
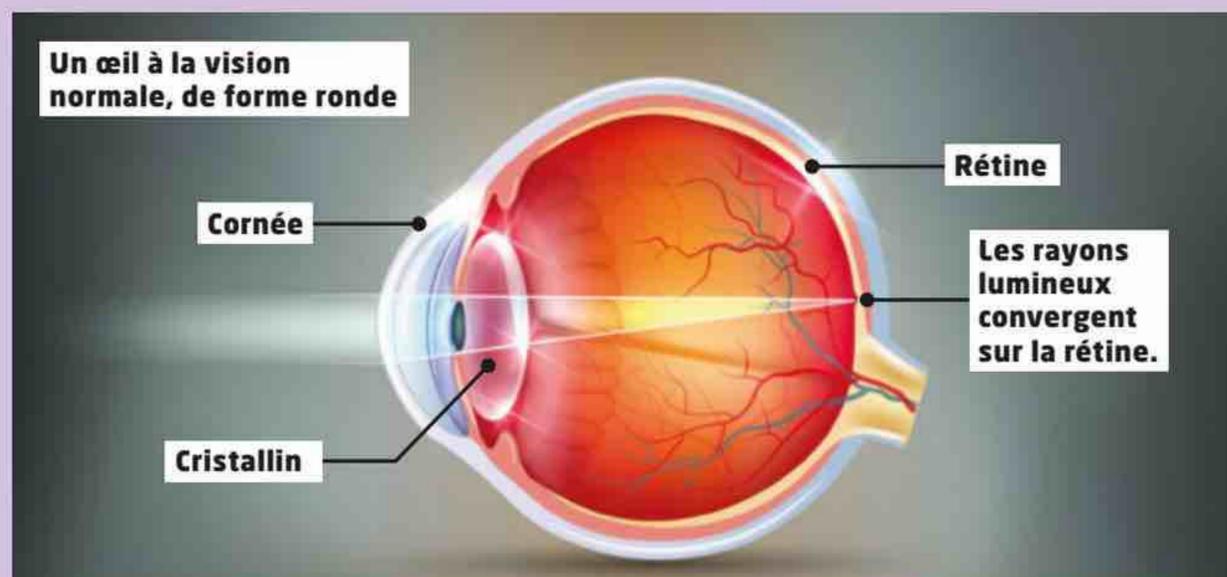


Anatomie

L'œil myope à la loupe

Myopie vient du grec *myopia*, qui signifie « courte vue ». C'est un trouble de la réfraction dû au fait que chez le myope, l'œil est trop allongé. Résultat, la distance entre la cornée (la première couche transparente de l'œil qui fait converger les rayons lumineux) et la rétine (la membrane à l'arrière qui capte ces rayons) est plus importante que sur un œil normal. Les rayons lumineux (et l'image qu'ils forment) convergent avant d'atteindre la rétine : ce qui est perçu apparaît flou.

Le niveau d'acuité visuelle d'un myope se mesure en dixièmes, à ne pas confondre avec la puissance des verres correcteurs qui, elle, s'exprime en dioptries. Pour évaluer la valeur en dioptries, on calcule l'inverse de la distance à laquelle la vision est nette. Par exemple, un myope qui est corrigé pour -2 dioptries réussit à voir net seulement jusqu'à 0,5 mètre (1/2). On classe les personnes myopes en trois catégories : myopie faible (en dessous de 3 dioptries), moyenne (entre 3 et 6) et forte (plus de 6).



facteur concerne la vision de près, trop sollicitée lors de l'utilisation des écrans et/ou pour la lecture. Pour l'instant, toutefois, aucun résultat ne permet de conclure de manière tranchée sur ses impacts.

Confinements : des effets à surveiller

En l'absence d'explication claire, la myopie inquiète. D'autant que les mois passés en confinement ont été surveillés de près et viennent de livrer leurs premiers résultats. Une étude récente, menée par une équipe hongkongaise et publiée en juin 2021, montre que chez des enfants de 6 à 8 ans, l'enfermement à l'intérieur des habitations aurait conduit à un nombre deux fois et demie plus important de

diagnostics de myopies. Ces chiffres seront bien sûr à confirmer et à analyser, mais d'ores et déjà, les ophtalmologues alertent, car la myopie n'est pas forcément un trouble anodin... surtout à long terme. L'œil très fortement myope (au-delà de -10 dioptries) est exposé à des risques très importants de décollement de la rétine, de cataracte précoce et de

glaucome. Une étude menée en 2019 sur 200 000 patients en France a montré qu'un sur quatre, parmi les personnes atteintes de myopie forte, est en situation de malvoyance ou de cécité après 60 ans. Bref, il y a urgence à se pencher sur ce nouveau mal des temps modernes... pour qu'il soit mieux pris en charge dès la plus tendre enfance et mieux compris de tous.

5 technologies pour contrer la myopie

Outre l'opération au laser, des lentilles et lunettes d'un genre nouveau permettent aujourd'hui de mieux corriger la myopie, voire de freiner sa progression dès le plus jeune âge!

1. Les lentilles à quatre zones optiques



Lancée il y a trois ans, cette lentille MiSight 1 Day, conçue par l'entreprise américaine CooperVision, est destinée aux enfants et adolescents à myopie modérée (jusqu'à -6 dioptries). Elle possède quatre zones optiques différentes concentriques: deux zones qui courbent les rayons périphériques, afin de freiner la tendance de l'œil myope à s'allonger, et deux zones qui corrigent la myopie avec une surface optique de verre classique.

Les résultats, après trois ans de suivi, ont montré une réduction de la myopie de 59% en moyenne, d'après CooperVision. Cette lentille est aujourd'hui la première et seule lentille souple, validée par les autorités sanitaires, à canaliser ce trouble de la vision. Elle est portée la journée comme toute lentille souple classique et se change tous les jours.



2. La chirurgie au laser



Pour se débarrasser une bonne fois pour toutes de ses lunettes ou de ses lentilles, il y a toujours l'opération au laser, apparue dans les années 1990. Cette fois, on ne joue pas sur la forme et l'épaisseur de l'œil en entier mais uniquement sur la cornée, c'est-à-dire la première lentille transparente qui est censée faire converger la lumière dans l'œil. En la modifiant juste ce qu'il faut, on modifie son pouvoir optique afin que la convergence des rayons redevienne normale et donne une vision de loin correcte. Ce remodelage

est plus ou moins important en fonction du niveau de la myopie.

Aujourd'hui, il existe essentiellement deux technologies. Le Lasik consiste à découper avec un premier laser une fine lamelle de la cornée (le capot), à creuser avec un second laser puis à redéposer la lamelle après intervention. La PKR, une technique plus ancienne, consiste à enlever simplement la couche supérieure de la cornée, l'épithélium. Ces deux solutions sont préconisées chez les adultes quand la myopie est stabilisée et permettent de corriger complètement ce trouble.

3. L'orthokératologie

Cette technologie consiste à porter toute la nuit des lentilles rigides qui écrasent le centre de la cornée. Concrètement, le fait d'appuyer sur cette couche externe de l'œil va suffire à réduire la distance entre cette dernière et la rétine et permettre ainsi de mieux voir (l'œil du myope étant par nature trop allongé, il se trouve ainsi raccourci et plus rond). Le jour suivant, la myopie

est corrigée pour la journée, à condition qu'elle ne soit pas trop forte (moins de 3 dioptries). Mais dès que l'on arrête de porter les lentilles la nuit, la surface naturelle de la cornée finit par reprendre sa forme initiale (au bout d'une quinzaine de jours) et il faut remettre des lunettes ou des lentilles classiques pour bien voir.

Ce dispositif, qui existe depuis les années 1990 en Asie, est aujourd'hui

4. La défocalisation périphérique

De tout nouveaux verres, dits à «défocalisation périphérique», tentent à leur tour non seulement de corriger la vue, mais aussi de freiner la progression de la myopie. Comment? Avec



une correction en périphérie (en plus de la vision centrale) qui évite à l'œil de chercher à s'allonger pour bien voir. Plusieurs entreprises se sont lancées sur ce projet, notamment le japonais Hoya qui propose depuis 2020 en France un verre avec une sorte de couronne en nid d'abeille, placée au centre d'une zone de correction classique.

Les premiers résultats sont très encourageants: d'après une étude publiée en mai dernier, le port de lunettes équipées de ces verres ramènerait l'allongement de l'œil myope au niveau de celui d'un œil sans défaut visuel au bout de trois ans et freinerait la progression de la myopie de 60% chez des enfants de 8 à 13 ans.



Les verres Miyosmart d'Hoya diffèrent des verres classiques qui ne corrigent pas les rayons périphériques se focalisant en arrière de la rétine.

© Shutterstock, SP

bien connu en France et recommandé à partir de 6 ans jusqu'à l'âge de 50 ans environ. Il est notamment conseillé aux sportifs qui ne peuvent pas porter facilement de lunettes en journée. En plus de dispenser d'utiliser des verres au quotidien, il permettrait également de freiner la progression de la myopie: 45% de moins en deux ans de port.



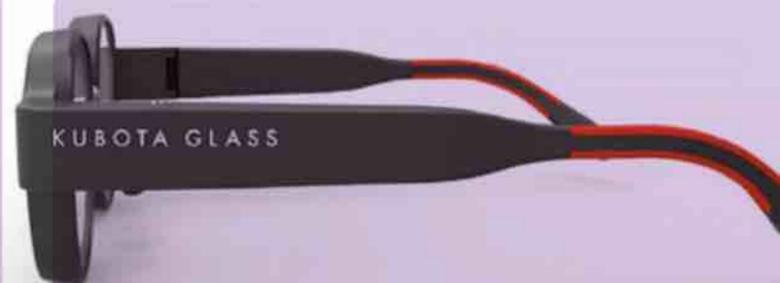
Les lentilles dures utilisées en orthokératologie doivent être portées toutes les nuits.

5. Les micro-LED clignotantes



Cette monture n'est pas très élégante de prime abord, mais elle pourrait être révolutionnaire. C'est en tout cas ce qu'espère son concepteur, l'entreprise japonaise Kubota, qui aimerait pouvoir soigner durablement la myopie grâce à elle. Le principe: comme pour les verres Miyosmart d'Hoya (voir encadré n° 4), il s'agit d'éviter à l'œil de s'allonger mais la technologie utilisée consiste, cette fois, à projeter des images - concrètement, des petites croix - à l'aide de micro-LED et de manière très rapide sur la périphérie.

Ces motifs superposés, si brefs qu'ils ne sont pas perceptibles, font travailler activement l'œil en permanence et le poussent à retrouver une forme moins longue. Ces lunettes électroniques ont déjà fait l'objet d'une étude clinique en août 2020, mais d'autres tests sont prévus pour vérifier si l'effet est bien durable. À suivre...



Le BUS à HYDROGÈNE trace sa route

L'élément le plus abondant de l'Univers est une ressource énergétique prometteuse, notamment pour les transports en commun. Les Anglais en font l'essai.

Par Louna Esgueva

À l'heure où de nombreuses grandes villes tentent de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre pour profiter d'un air plus pur et ralentir le réchauffement de la planète, le potentiel de l'hydrogène comme carburant devient une alternative plus durable que les combustibles fossiles. Non seulement pour la voiture, mais aussi pour les transports publics. Si, depuis 2019, la France a déployé, dans le cadre d'expérimentations locales (à Pau, Paris, Versailles, La Roche-sur-Yon...), quelques bus à hydrogène, la Grande-Bretagne est passée l'été dernier à la vitesse supérieure. Une flotte de vingt autobus à deux étages alimentés en hydrogène a ainsi été mise en circulation dans la région de Birmingham. Conçus par la société britannique Wrightbus, ces Hydroliner (c'est leur nom) sont des bus électriques. Mais dans leur cas, le moteur est alimenté par des piles à combustible qui, à partir de l'hydrogène contenu dans les réservoirs

et combiné chimiquement à l'oxygène de l'air, produisent de l'électricité stockée ensuite dans des batteries. Le tout sans émission de CO₂ et avec comme seul rejet, de la vapeur d'eau!

Si la route vers un avenir plus vert semble se dessiner pour les transports publics, elle se frotte malgré tout à un frein: la production de l'hydrogène. En effet, bien que propre, surabondant, facile à stocker et à transporter, il est, dans la nature, associé à d'autres éléments chimiques comme l'oxygène dans l'eau (H₂O) ou l'azote (entre autres) dans l'air. Il faut donc pouvoir l'extraire. Et c'est là que le bât blesse car, pour le moment, les techniques utilisées libèrent de grandes quantités de gaz à effet de serre, annihilant l'intérêt écologique de l'utilisation de ce carburant. L'inauguration, il y a quelques mois en Vendée, de la première usine française d'hydrogène vert – produit grâce à de l'électricité fournie par des éoliennes – pourrait cependant, dans un avenir proche, donner un coup d'accélérateur à cette technologie. 🌱

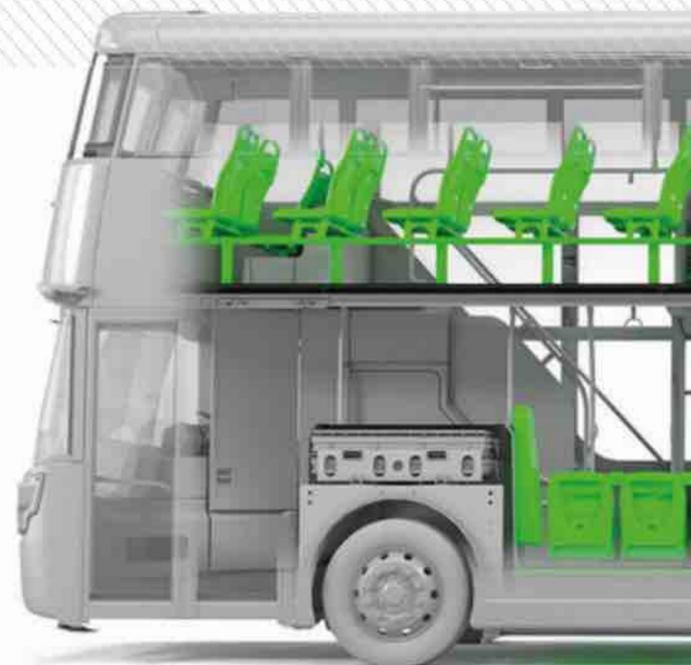


© Wrightbus

Une vingtaine d'autobus équipés de piles à hydrogène circulent depuis l'été dernier dans la région de Birmingham, en Angleterre.

Sous le capot d'un bus Hydroliner

Ce bus à impériale peut transporter jusqu'à 86 passagers.



Réservoirs

Dans ces cylindres résistants aux chocs sont stockés 1 120 litres d'hydrogène à haute pression.

Piles à combustible

L'hydrogène à haute pression est transporté jusqu'à un ensemble de piles à combustible qui vont générer un courant électrique. Stocké dans les batteries, celui-ci peut ensuite alimenter le moteur (non visible sur cette infographie).

Batteries

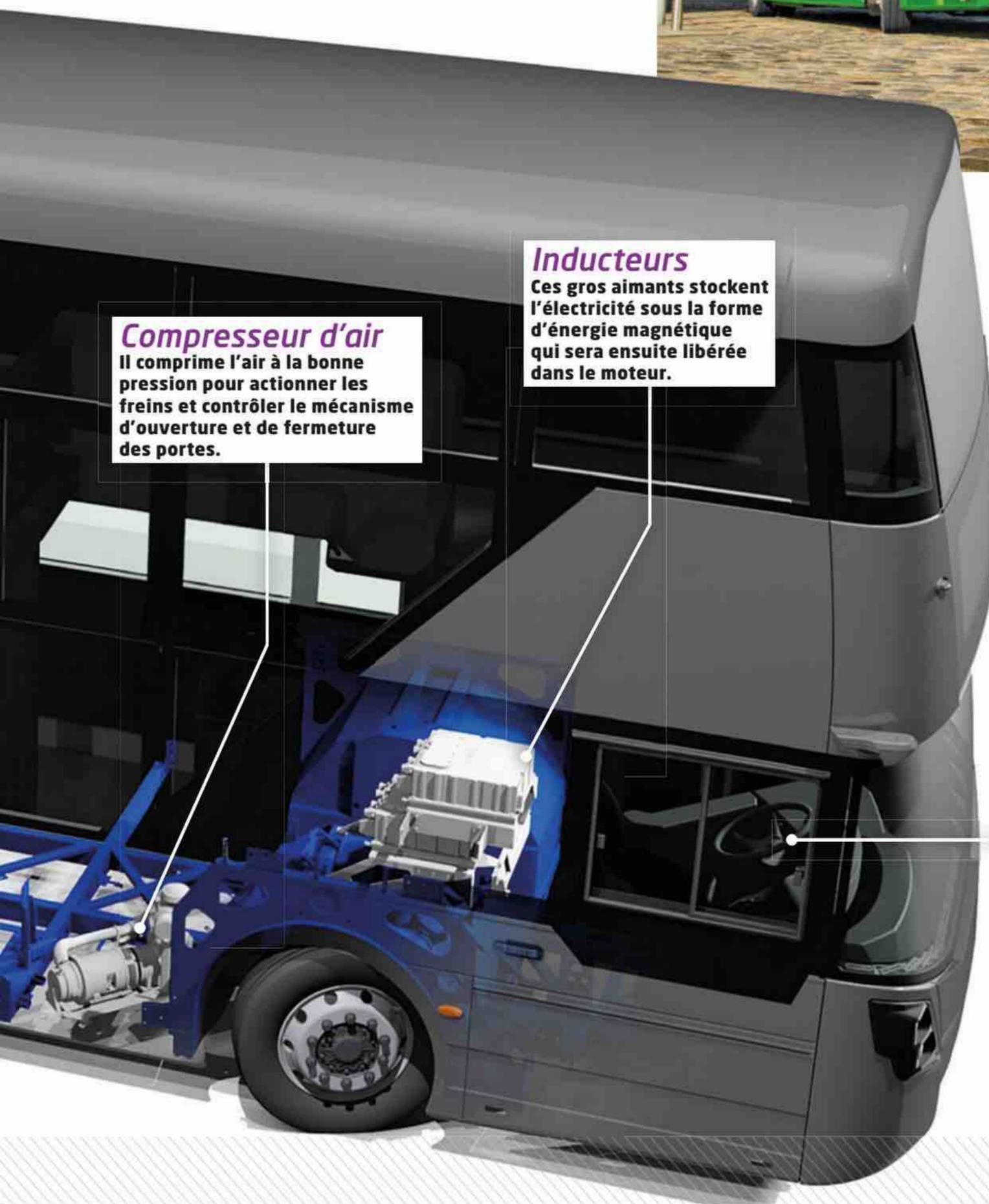
Des batteries au lithium stockent l'énergie et la transfèrent au moteur.

Unité de refroidissement

L'intérêt de refroidir l'hydrogène est qu'il devient plus dense et prend moins de volume, ce qui permet d'en stocker davantage.

Point de ravitaillement

C'est à cet endroit que le remplissage en hydrogène des réservoirs s'effectue. Un plein prend huit minutes, pour une autonomie d'environ 400 km.



Compresseur d'air

Il comprime l'air à la bonne pression pour actionner les freins et contrôler le mécanisme d'ouverture et de fermeture des portes.

Inducteurs

Ces gros aimants stockent l'électricité sous la forme d'énergie magnétique qui sera ensuite libérée dans le moteur.

Direction assistée

L'électricité générée à partir de l'hydrogène sert également pour aider le chauffeur à diriger son véhicule.

L'INNOVATION FRENCH TECH DU MOIS

Avec Toopi Organics, l'urine hu

La start-up girondine a breveté un procédé de filtration et d'enrichissement de l'urine humaine qui permet de la substituer aux intrants chimiques agricoles.

Par Sophie Noucher



Dans ces cuves sont conservés des milliers de litres d'urine qui seront réutilisés dans les champs.



Ces toilettes innovantes permettent de collecter le précieux liquide au lieu de l'évacuer vers les égouts.



Des bactéries qui favoriseront la croissance végétale sont cultivées dans l'urine.



Les excréments des animaux ont de tout temps été utilisés par les paysans pour enrichir la terre. L'urine humaine est pour sa part riche en azote, en potassium et en phosphore, même si elle n'est pas aussi « puissante » que les engrais chimiques. Elle constitue également un excellent milieu de culture et c'est pourquoi la start-up Toopi Organics, basée en Gironde, a commencé par la stabiliser et la dépolluer avant d'y cultiver des bactéries qui favorisent la croissance végétale. Celles-ci agissent en captant des nutriments (en fixant l'azote de l'air, par exemple, elles enrichissent le sol) ou en protégeant la plante. Le procédé

Coraline Thibaut,

CV en bref

- 2010**: bac Sciences et technologies de laboratoire (Bordeaux)
- 2012**: BTS Bioanalyses et contrôles (université de Bordeaux)
- 2013**: licence Biologie cellulaire et moléculaire (université de Bordeaux)
- 2015**: master professionnel en biotechnologies (université de Limoges)
- 2015-2020**: travaille dans la recherche publique en biologie cellulaire (CNRS) puis à l'Institut de la vigne et du vin à Bordeaux
- Juin 2020**: rejoint l'équipe de Toopi

200 milliards
de litres d'urine sont rejetés
chaque année en Europe

maine devient un fertilisant

LE CONCEPT

permet, à partir d'un litre d'urine, de fabriquer autant de « bio-stimulant », qui sera jusqu'à dix fois moins cher que les intrants chimiques. Aux commandes, le trentenaire Michaël Roes, autodidacte fondateur d'une entreprise d'engrais naturels, et Pierre Huguier, docteur en écotoxicologie du sol.

Une matière première abondante

En 2019, les deux hommes ouvrent un laboratoire avec une petite équipe de quatre personnes. Ils déposent un brevet et demandent une autorisation de mise sur le marché (AMM) car ils ne peuvent faire commerce de l'urine, considérée comme un déchet. Ils

espèrent obtenir cette autorisation dans l'année. En attendant, l'équipe de Toopi s'est étoffée (elle compte aujourd'hui plus de vingt personnes) et multiplie les tests sous serre, dans les champs et pour tous types de cultures – fleurs, gazon, céréales, légumes...

Objectif : organiser dans différentes régions agricoles des circuits courts (moins de 100 km) de collecte de l'urine que la start-up traitera (de la filtration à l'enrichissement en bactéries) avant de la livrer aux agriculteurs. Lycées, stades, festivals... sont autant de lieux publics où il est possible de récupérer quantité de matière première. Pour cela, Toopi s'associe à des concepteurs de toilettes comme la société PSV

qui a créé des urinoirs mixtes avec des cuves de récupération, et des w.-c. qui séparent urine et matières fécales.

En plus de favoriser le recyclage du pipi, ces structures légères sont mobiles et autonomes : elles ne sont reliées ni aux égouts, ni au réseau électrique. Entre Toopi et ces toilettes innovantes (le module baptisé Cityloo comprend par exemple deux urinoirs et un w.-c. clos qui permettent de recueillir 1 000 litres d'urine), c'est une nouvelle manière de concevoir l'hygiène des espaces communs qui voit le jour : sans emprise au sol, sans consommation d'énergie et avec à la clé, la récupération d'une richesse que nous gaspillons pour l'instant en tirant la chasse d'eau. 

L'INTERVIEW

29 ans, ingénieure R&D en microbiologie chez Toopi

Comment ça marche :
Quel est votre rôle au sein de l'équipe de recherche et développement ?

Coraline Thibaut :
Je participe aux projets de recherche sur la croissance dans l'urine de bactéries naturellement présentes dans les espaces agricoles. Nous essayons d'obtenir que ces organismes, qui facilitent la vie des plantes en « cassant » les éléments nutritionnels complexes qu'elles assimilent, se développent en plus

grand nombre dans l'urine. Nous jouons à la fois sur leur diversité et sur les caractéristiques de chacun.

CCM : Qu'est-ce qui est le plus difficile dans votre travail ?

C.T. : C'est le changement d'échelle. Passer du laboratoire à l'usine, c'est passer de petits volumes à des cuves de 5 000 litres. Nous avons mis du temps à obtenir des résultats similaires dans les deux environnements.

CCM : Vous qui avez approché des milieux « nobles » comme le vin, aviez-vous imaginé travailler un jour sur l'urine ?

C.T. : Non, je n'imaginai pas travailler sur ce sujet, c'est vrai, mais j'ai toujours souhaité avoir un impact sur l'environnement. Dans les deux cas j'étudie la fermentation, et la mission de Toopi est écologique car nous permettons d'économiser de l'eau potable. C'est cela qui est gratifiant et c'est pourquoi je préfère ce secteur.



© Toopi Organics

LES CHIFFRES

3 000 milliards

de litres d'eau potable annuels sont gaspillés en Europe par les chasses d'eau

18 millions

de tonnes d'engrais minéraux sont utilisés chaque année en Europe

Les objets du mois



La sélection de *Comment ça marche*: des objets du quotidien malins, high-tech et écolos, qui facilitent la vie tout en respectant l'environnement.

Par Sophie Noucher

Water Saver, le lavage des cheveux en salon économe en eau

L'Oréal et la start-up Gjosa se sont associés pour créer Water Saver, une technologie de micronisation, c'est-à-dire de fractionnement du flux d'eau sortant de la douche, qui produit des gouttelettes dix fois plus fines, donc une consommation d'eau moindre. De plus, le système permet un temps de rinçage réduit grâce à un débit accéléré.

Consommation : 2 litres/minute, contre 8 litres pour un pommeau ordinaire ; jusqu'à 80% d'eau en moins par rapport à un rinçage classique

Disponible dans plusieurs salons de coiffure à New York et à Paris ;

version « à domicile » prévue à partir de 2023

www.loreal.com/fr/articles/science-et-technologie/loreal-water-saver-the-new-sustainable-haircare-system



JustOneCard, la carte de visite évolutive

Trois élèves ingénieurs de l'École des mines de Nancy ont conçu cette carte qu'il suffit de poser sur un smartphone pour afficher et partager ses coordonnées, grâce à la technologie NFC (*Near Field Communication*), qui permet d'échanger des données à moins de 10 cm. Son plus ? Une application en cours de développement permettra de notifier tout changement, de poste ou d'adresse par exemple, rendant la carte utilisable toute la vie.

Carte fabriquée en bois recyclé
Enregistre le profil complet (réseaux sociaux, numéro de téléphone, adresse e-mail, etc.)
Pour les 5% de smartphones sans technologie NFC, la carte possède un code QR qui renvoie directement au profil digital
À partir de 30 €
www.justonecard.fr



Tot.me, le totem végétal

Faire vivre des plantes d'intérieur sans terreau, c'est possible ! C'est le principe de l'hydroponie : les végétaux développent leurs racines dans l'eau (avec parfois un peu d'engrais). Dans ce bocal « totem » en deux parties fabriquées à la main, celles-ci révèlent toute leur beauté, et tant qu'elles restent immergées, pas besoin d'arrosage.

Couronne en porcelaine de Limoges et bocal en verre soufflé
16,5 x 11 cm
Changer l'eau (du robinet) tous les mois
Liste de plantes disponibles
sur Instagram: @totem_vegetal
Un socle en bois de châtaignier est proposé comme support lumineux pour mettre en valeur le système racinaire
Environ 89 €
<https://tot.me/>



Coldsnap, des glaces instantanées

Il suffit d'insérer dans cette machine des capsules de préparations (de glaces, boissons ou smoothies) pour qu'en lisant leur code QR, elle détermine les paramètres de congélation et les transforme. Par un système de réfrigération à haute puissance, elles deviennent douceurs glacées... Intéressant dans les endroits où la chaîne du froid est peu fiable, car ces capsules se conservent à température ambiante.

Environ 22 x 62 x 44 cm
Dosettes en aluminium, donc recyclables
Conservables de neuf à douze mois
Opérationnel deux minutes après avoir branché la machine ; pas de nettoyage : les ingrédients passent de la dosette au récipient
Commercialisation prévue dans le courant de l'année
www.coldsnap.com

Clean Motion, la poignée de porte désinfectante

Les poignées de portes sont des nids à microbes... C'est pourquoi l'entreprise suisse Clean Motion a mis au point un modèle qui comporte un réservoir rechargeable de désinfectant intégré. Lorsque la poignée est relâchée, un anneau-éponge imprégné d'un aseptisant effectue un aller-retour sur toute la surface ! Très utile pour les lieux à forte fréquentation (bureaux, cafétérias, toilettes...).

Poignée en aluminium et acier inoxydable
Autonomie : 2 000 utilisations (anneau-éponge jetable) ; fonctionne sur piles
Élimine virus et bactéries ; s'évapore en quelques secondes
Une lumière bleue signale la fin de la désinfection
Commercialisation à partir du mois de septembre
Prix indicatif : 250 €
www.cleanmotion.ch



Les ANIMAUX du TOIT du MONDE

Ils survivent au froid, à l'altitude et, plus difficilement, à l'humain... Les animaux qui peuplent le plateau tibétain sont à protéger autant qu'à admirer. Galerie de portraits, à l'occasion de la sortie au cinéma, le 15 décembre, du documentaire *La Panthère des neiges*.

Par Victoria Milhomme

En plein hiver et à 4 500 mètres d'altitude dans l'est du Tibet, la réalisatrice Marie Amiguet a suivi le photographe animalier Vincent Munier et l'écrivain Sylvain Tesson dans leur quête d'un animal mythique : la panthère des neiges. Lors de deux séjours de trois semaines, l'équipe a bravé le froid (-20°C en moyenne) pour se fondre dans l'immense paysage aride, à l'affût des bêtes. Les clichés de Munier n'en retiennent que la beauté, mais beaucoup de ces espèces sont menacées et surveillées par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN).



Vincent Munier (à g.) et Sylvain Tesson dans le film *La Panthère des neiges*.

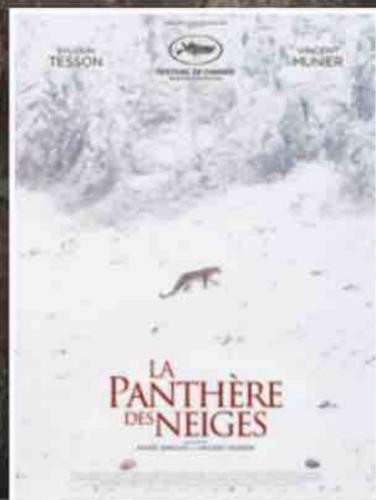
Une faune peu étudiée

Le plateau tibétain, situé en majeure partie en Chine mais aussi au Myanmar, au Bhoutan, au Népal et en Inde, est la plus vaste étendue terrestre de haute altitude : près de 2 millions de kilomètres carrés à 5 000 mètres d'altitude en moyenne. Il est bordé au sud par la chaîne de l'Himalaya,

à l'ouest par les monts du Karakoram et au nord par le désert du Tarim. La faune du Tibet reste peu étudiée tant l'accès à cette région est difficile, mais grâce aux scientifiques qui s'escriment depuis des décennies à collecter et analyser des données, nous en savons déjà beaucoup. Zoom sur sept espèces emblématiques des lieux. 📍



Marie Amiguet, diplômée d'une licence en biologie, a réalisé son rêve de devenir réalisatrice de documentaires animaliers.



Le film a fait partie de la sélection « Le cinéma pour le climat » du Festival de Cannes 2021.

La panthère des neiges

Elle est si belle et si rare qu'elle attise bien des fantasmes. Difficile de recenser la population de cette espèce endémique de l'Himalaya tant son territoire est vaste (2,8 millions de kilomètres carrés répartis sur douze pays) et hostile. Solitaire, l'animal vit à de très hautes altitudes (jusqu'à 5 800 m), protégé par sa fourrure et sa physiologie adaptée (capacité augmentée à fixer l'oxygène, cœur et poumons puissants, larges cavités nasales réchauffant l'air glacé). Son pelage sablé moucheté d'ocelles sombres lui offre un parfait camouflage pour se fondre dans la neige ou disparaître au milieu des roches. Invisible, elle se joue de ses proies comme de ses admirateurs et ne craint aucun prédateur. Seuls les humains la menacent. Certains la braconnent (au marché noir, une peau peut atteindre 10 000 euros), ou simplement la chassent pour l'excitation



Fiche d'identité

Nom scientifique: *Panthera uncia*

Famille: félidés

Poids: 20 à 50 kg

Taille: 1,20 m de longueur pour 60 cm au garrot; queue: 90 cm

Régime alimentaire: carnivore

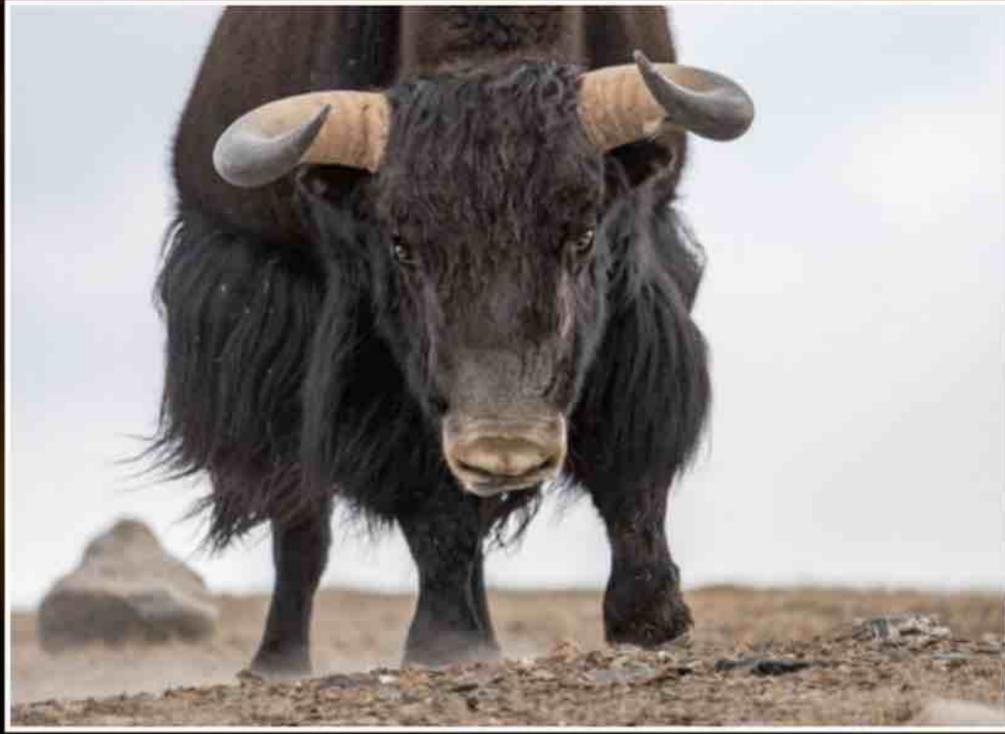
(yacks, chèvres, bharals, kyangs, pikas, marmottes, lièvres, oiseaux)

Longévité: 21 ans en captivité, 11 ans dans la nature

Population: 4 000 à 6 500

Liste rouge UICN: vulnérable (VU)

et la gloire. D'autres craignent qu'elle ne dévore leur bétail et préfèrent s'en protéger en l'éliminant. Conséquence: elle est aujourd'hui sous pression et, sans action de conservation, son surnom de fantôme des montagnes pourrait présager une triste réalité.



Le yack sauvage

S'il est un animal bâti pour l'altitude et le froid, c'est bien lui! Le yack sauvage est protégé par une longue et épaisse toison de laine brune, doublée d'un sous-poil dense. Il produit par ailleurs un mucus (substance visqueuse composée d'eau, de sucres et de protéines) qui l'enveloppe d'une mince pellicule isolante, lui permettant de tenir par -40°C . Le froid n'est pas la seule difficulté à laquelle ce

bovidé doit faire face. En montagne, plus on s'élève, plus la pression atmosphérique diminue et plus les molécules d'oxygène sont dispersées. Heureusement, comme beaucoup d'animaux de ces contrées, le yack est équipé. Sa capacité à capter l'oxygène de l'air et à le distribuer dans tout son corps est augmentée grâce au taux élevé de globules rouges dans son sang (ces cellules transportent l'oxygène). Ses larges poumons

et son cœur puissant assurent un afflux sanguin conséquent. Si le yack ne craint pas l'âpreté des hivers tibétains, il reste vulnérable face aux humains qui le chassent pour sa viande, malgré les 13 millions de yacks domestiques dont ils disposent. Les quelque 10 000 yacks sauvages restants supportent d'ailleurs mal la concurrence (pour l'habitat et la nourriture) et perdent de plus en plus de terrain.



Le renard du Tibet

Ce petit prédateur carnivore (il se délecte de rongeurs, lièvres, lapins, oiseaux et pikas) souffre, comme le manul (voir p. 74), des conséquences de l'empoisonnement massif de ses proies. Pour affronter le froid, il possède une magnifique fourrure grise et rouille, terminée par une longue queue touffue. Les communautés locales le chassent pour faire de cette fourrure des chapeaux. Cependant, le poil du renard

tibétain est épais et ne s'exporte pas, jugé de peu de valeur. L'animal est ainsi moins persécuté que son cousin le renard argenté, que certains aiment arborer parfois tout entier, mort et vidé, tanné, autour du cou. Quand les renards parviennent à ne pas finir en chapeau ni se faire dévorer par plus gros qu'eux (par la panthère des neiges, l'ours ou le loup), ils vivent en couple uni pour la vie, et élèvent à deux leurs renardeaux.

Fiche d'identité

Nom scientifique: *Vulpes ferrilata*

Famille: canidés

Poids: 4,5 kg

Taille: 65 cm de longueur; queue: 45 cm

Régime alimentaire: carnivore

(rongeurs, lièvres, lapins, pikas, oiseaux)

Longévité: 8 à 10 ans

Population: 37 000

Liste rouge UICN: préoccupation mineure (LC)



Fiche d'identité

Nom scientifique: ***Bos mutus***
 Famille: **bovidés**
 Poids: **500 à 1 000 kg**
 Taille: **3 m de longueur pour 1,80 m au garrot; queue: 60 cm; cornes: 80 cm**
 Régime alimentaire: **herbivore, ruminant (herbes hautes, lichens, mousses)**
 Longévité: **20 à 25 ans**
 Population: **7 500 à 10 000**
 Liste rouge UICN: **vulnérable (VU)**

L'antilope du Tibet

Également connu sous le nom de chiru, cet animal est victime de son atout anti-froid le plus précieux : le shahtoosh (du persan, « roi des laines fines »), un sous-duvet fin et dense parfaitement isolant, malheureusement très prisé des humains. Les fibres sont transformées en un tissu somptueux, doux et chaud, si fin qu'il file entre les doigts. Impossible cependant de tondre la toison crème de l'antilope... La laine ne peut être prélevée que sur l'animal mort. Et pour fabriquer un seul châle, quatre bêtes sont nécessaires. Bien que le commerce de shahtoosh soit interdit depuis 1979, la demande reste forte. Le prix d'un châle varie entre 5 000 et 20 000 euros, une somme considérable au regard du revenu moyen au Tibet, 125 euros par mois. Malgré leur vitesse de course impressionnante (100 km/h), les antilopes peinent à échapper aux carabines des braconniers et sont massacrées.



Fiche d'identité

Nom scientifique:
Pantholops hodgsonii
 Famille: **bovidés**
 Poids: **25 à 40 kg**
 Taille: **1,25 m de longueur pour 90 cm au garrot; queue: 30 cm; cornes (seulement chez les mâles, annelées, en forme de S): 60 cm**
 Régime alimentaire: **herbivore, ruminant (herbes et arbustes)**
 Longévité: **10 à 12 ans**
 Population: **100 000 à 150 000**
 Liste rouge UICN: **quasi menacée (NT)**

Le loup de l'Himalaya

Le loup de l'Himalaya n'est pas un simple loup gris, il est spécifiquement adapté à son environnement et constituerait même une sous-espèce distincte, selon l'analyse génétique de fèces (crottes) collectées dans la région. Petit (ce qui limite les pertes de chaleur), il est doté d'une fourrure épaisse, d'un museau long et de pattes plus puissantes que celles du loup gris commun. La morphologie de ce loup n'est pas l'unique raison de sa robustesse. Sa physiologie s'accorde, elle aussi, avec le froid et l'altitude. Comme le yack, le loup est doté d'un cœur puissant et de larges poumons. Autre atout: son métabolisme. Il peut manger jusqu'à neuf kilogrammes de viande d'un coup, puis jeûner pendant des semaines. S'adapter à la disponibilité en nourriture est un gage de survie dans ce milieu aride.

Fiche d'identité

Nom scientifique: *Canis himalayensis*

Famille: canidés

Poids: 50 kg

Taille: 1 m de longueur pour 70 cm

au garrot; queue: 35 cm

Régime alimentaire: carnivore

(marmottes, lièvres, bharals)

Longévité: 15 ans

Population: 350

Liste rouge UICN: non renseigné



Le manul

Qui aussi est parfaitement adapté à la rudesse du climat himalayaen. Le corps ramassé et trapu de ce chat sauvage ainsi que ses oreilles basses limitent les déperditions de chaleur, tandis que sa fourrure aux poils longs et épais le préserve du froid. Vif et agile, le manul tend des embuscades à ses proies à la sortie de leurs terriers. Il se nourrit de rongeurs, campagnols et pikas, des cousins du lièvre. Le problème, c'est que ces derniers, considérés comme nuisibles, sont victimes de campagnes d'empoisonnement massives. Résultat, le manul peine à trouver sa nourriture, quand il ne s'empoisonne pas en l'ingérant. Une menace à laquelle s'ajoute sa petite taille, qui l'expose aux prédateurs comme les renards et les rapaces. Agressif, méfiant et solitaire, il vit caché - dans des grottes, des crevasses rocheuses ou des terriers de marmottes ou de lièvres -, toujours sur ses gardes. À raison, car il est aussi chassé pour son épaisse toison.

Fiche d'identité

Nom scientifique: *Otocolobus manul*

Famille: félidés

Poids: 3,5 kg

Taille: 65 cm de longueur; queue: 30 cm

Régime alimentaire: carnivore (rongeurs, pikas, oiseaux)

Longévité: 12 ans

Population: 58 000

Liste rouge UICN: préoccupation mineure (LC)



Le bharal

Le bharal, ou mouton bleu, est un caprin sauvage cousin du bouquetin et du mouflon, reconnaissable à ses épaisses cornes en forme de lyre. Il se protège de ses prédateurs, la panthère des neiges et le loup, en se mouvant sur les pentes escarpées, où il peut fuir rapidement. Agile, il maîtrise les terrains accidentés, mais use surtout du camouflage offert par son pelage aux couleurs rocailleuses. Quand il sent l'imminence d'une attaque, il pousse un cri d'alarme pour prévenir ses congénères et se fige devant un pan rocheux. Complètement immobile, il se fond dans le décor. S'il est repéré, il détale et disparaît à nouveau. Peu chassé par l'homme, le bharal souffre cependant de la construction de routes dans la région, lesquelles coupent ses trajectoires naturelles et nuisent à ses routines.



Fiche d'identité

Nom scientifique: *Pseudois nayaur*

Famille: **bovidés**

Poids: **30 à 80 kg**

Taille: **1,40 m de longueur pour 80 cm au garrot;**
queue: 15 cm; cornes: 80 cm (mâles),
20 cm (femelles)

Régime alimentaire: **herbivore, ruminant**

(graminées, plantes herbacées vivaces et lichens)

Longévité: **15 à 18 ans**

Population: **47 000 à 414 000**

Liste rouge UICN: **préoccupation mineure (LC)**

D'où viennent les

Avant d'atteindre la mer, les rivières et les fleuves se forment par l'accumulation d'eau s'écoulant des massifs montagneux. Suivez leur parcours!

Par Cécile Guichon

Qu'ils tombent en cascade le long d'une paroi rocheuse ou serpentent au milieu de la campagne, les cours d'eau (rus, ruisseaux, rivières, torrents, oueds, fleuves...) sont essentiels à de nombreuses formes de vie sur Terre. Des milliers d'espèces de poissons, d'insectes, de reptiles et de mammifères en ont fait leur habitat. Ces canaux naturels d'eau douce et de nutriments (comme l'azote et le phosphore) alimentent des cours d'eau plus gros qui eux-mêmes se jettent dans les mers et les océans. Les fleuves peuvent s'étendre sur

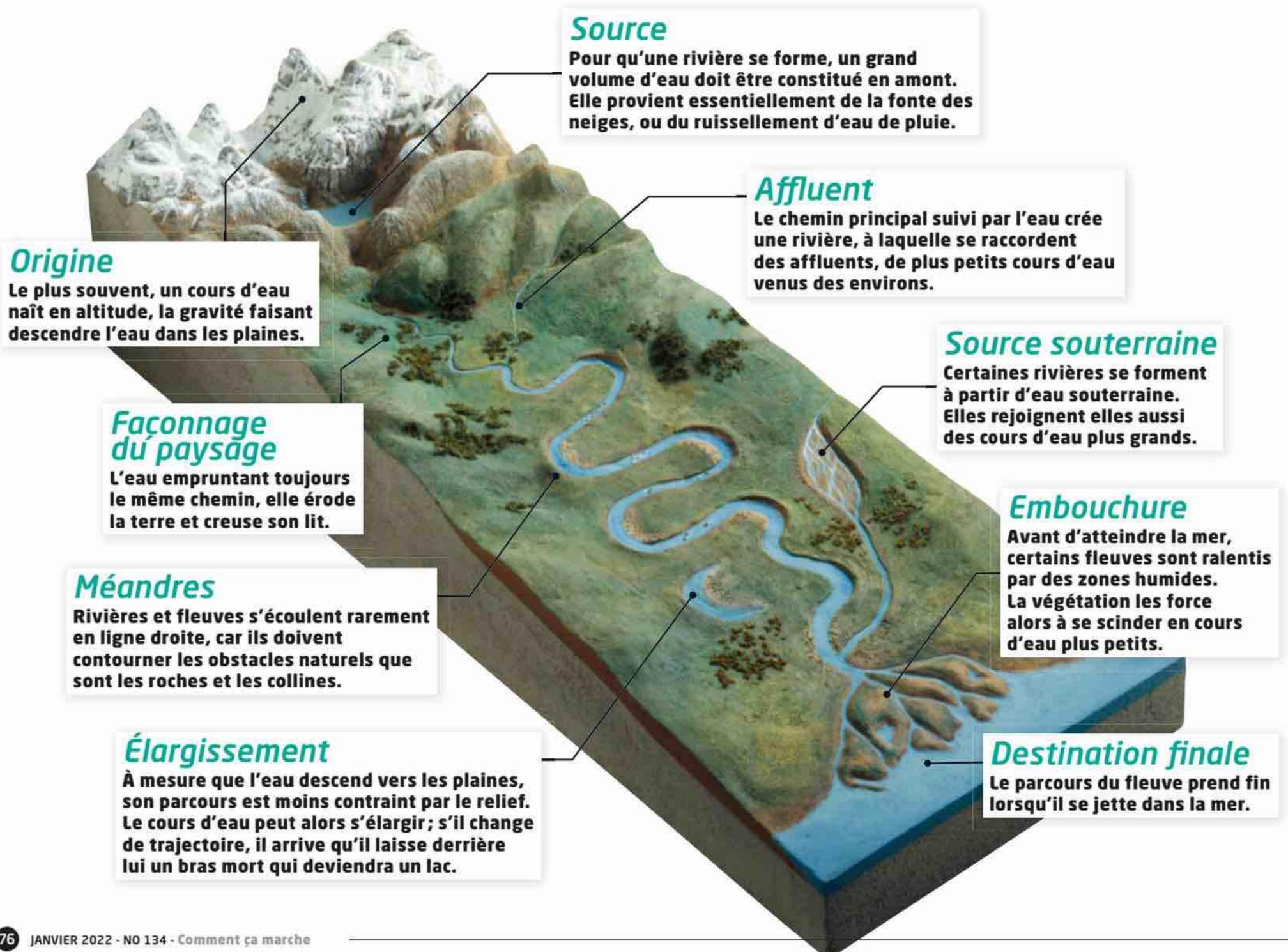
des milliers de kilomètres. Le plus grand au monde est l'Amazone, qui traverse le Pérou, la Colombie et le Brésil sur près de 7000 km de longueur; à lui seul, il contient un cinquième du volume total d'eau douce déversé dans les océans de la planète.

Intimement liés au relief

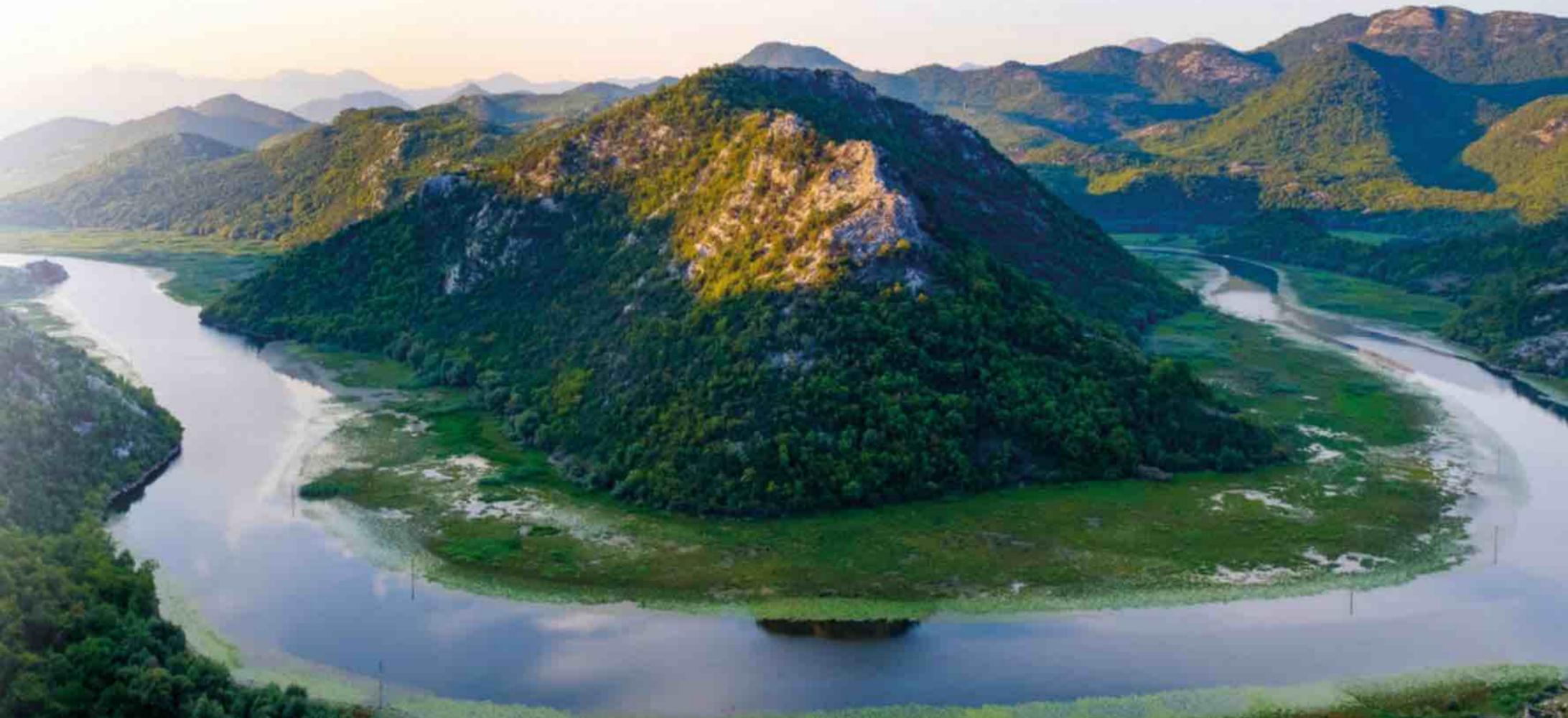
Quelle que soit leur taille, ces différents cours d'eau ont toujours été les alliés des humains, tant comme moyens de transport que comme sources d'eau fraîche. Ils façonnent les paysages, mais l'inverse est

vrai également: un relief très prononcé déterminera la forme d'une rivière. Il en existe ainsi de plusieurs sortes: celles encaissées dans un relief montagneux ont un tracé qui varie peu car elles érodent très lentement la roche, très dure. Au contraire, celles qui coulent dans les plaines alluviales changent régulièrement d'aspect: quand le flux central déborde, la zone de sédiments qui l'entoure, très meuble, permet de créer de nouveaux chemins. Mais peu importe leur géométrie, la destination finale des cours d'eau, elle, reste toujours la même: les mers et les océans. 🌍

Depuis les montagnes jusqu'à la mer



COURS D'EAU?



La formation d'un méandre

Courant rapide

Les eaux les plus rapides sont poussées vers l'extérieur du lit de la rivière. Possédant plus d'énergie, elles creusent ce côté plus rapidement.

Courant lent

Les eaux les plus lentes sont poussées vers l'intérieur. Elles déposent le sable et les sédiments qu'elles charrient, formant une pente douce dans leur lit.

Sédiments

À mesure que l'eau dépose ses sédiments, elle est forcée à s'écouler de plus en plus vers l'extérieur, élargissant encore le méandre.

Érosion latérale

Contrairement à l'érosion verticale, qui creuse la rivière en profondeur, l'érosion latérale, provoquée par les courants rapides sur le bord externe de la rivière, l'élargit et crée un coude.

Fin du méandre

Une fois qu'elle a contourné les dépôts de sédiments, l'eau recommence à couler en ligne droite.



MOLIÈRE en



Aujourd'hui encore, ses pièces étonnent par leur modernité. Et l'intérêt ne faiblit pas autour de ce grand nom du théâtre français, né il y a 400 ans. Esquisser le portrait de Molière n'est cependant pas chose aisée. Même les spécialistes de son œuvre doivent souvent procéder par hypothèses face au peu de documents d'époque disponibles. Le point sur l'état des connaissances à son sujet, et sur ce qui pose encore question...

Par Delphine Gaston-Sloan

Chronologie

1622

On ne connaît que la date de son baptême, le 15 janvier à Paris. Il est prénommé Jean, mais on l'appellera Jean-Baptiste.

1643

Bien que licencié en droit, il fait une croix dessus pour fonder l'illustre Théâtre.

1645

Après l'échec parisien, Molière et sa troupe tentent leur chance en province avec leurs farces.

1655 (ou 1654)

Représentation de *L'Étourdi* ou *Les Contretemps*, première pièce de Molière dont le texte nous est parvenu.

1658

De retour à Paris, la troupe obtient la protection de Monsieur, le frère de Louis XIV, et se fait remarquer de celui-ci.

10 questions



Gravure du XIX^e siècle de Jean-Léon Gérôme illustrant Molière (à gauche) en conversation avec Corneille.

1 Corneille est-il le véritable auteur des pièces de Molière ?

La question ne s'est jamais posée avant que Pierre Louÿs (1870-1925), poète et romancier, ne fasse de Corneille (1606-1684) le prête-plume de Molière dans l'article «Corneille est-il l'auteur d'*Amphitryon*?» (1919). Selon Louÿs, le grand dramaturge qu'était Corneille aurait été plus à même d'écrire ces chefs-d'œuvre que Molière, simple directeur de troupe et acteur. Il aurait ainsi relancé une carrière sur le déclin tout en faisant, dans l'ombre, une satire de la société de son temps. La preuve? On n'a retrouvé aucun manuscrit. Sauf qu'au XVII^e siècle, on ne conservait pas les brouillons après publication. En 2019, une étude statistique comparée de l'emploi des mots, des tournures grammaticales et des rimes des deux dramaturges semble avoir clos la controverse... rendant à Molière ce qui appartient à Molière.

© Aurimages

1661

Fouquet, le surintendant des Finances, le fait jouer lors de la fête éblouissante donnée en l'honneur du roi à Vaux-le-Vicomte.

1662

Il épouse la comédienne Armande Béjart, sœur de son ex-compagne Madeleine.

1664

Participant à la fête à Versailles des « Plaisirs de l'île enchantée », il scandalise avec sa première version du *Tartuffe*.

1665

Après avoir vu un fils mourir en bas âge l'année précédente, il devient père d'une fille, Esprit-Madeleine.

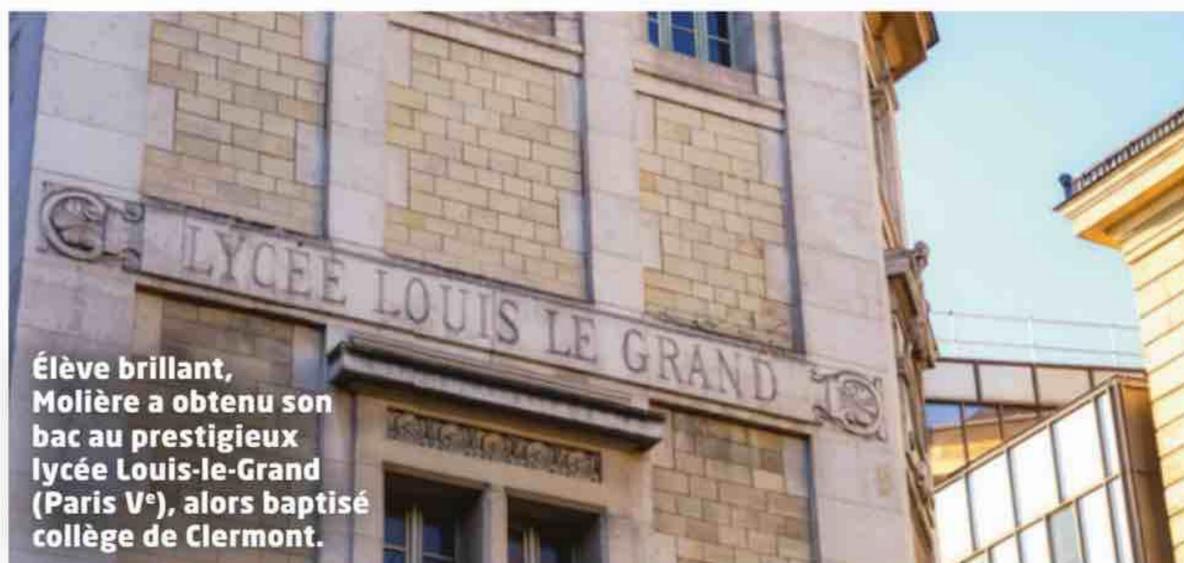
1673

Le 17 février, il fait un malaise en pleine représentation du *Malade imaginaire* et meurt dans la soirée.

2 Molière était-il mauvais à l'école pour finir comédien ?

Pas du tout ! Vendeur de tissus d'ameublement aux fortunés, le père de Molière, Jean Poquelin, détient également la prestigieuse charge de tapissier ordinaire de la maison du roi, impliquant qu'il s'occupe du décor de sa chambre. En attendant d'hériter de cet office, Jean-Baptiste fréquente l'école paroissiale, apprend le latin et l'arithmétique. L'ordre des choses veut qu'il embraye à 15 ans sur

la carrière de tapissier, mais son père ne s'oppose pas à son désir de poursuivre ses études. Brillant, le garçon rejoint l'établissement le plus sélect de la capitale, le collège de Clermont (actuel lycée Louis-le-Grand), où il obtient un bac littéraire. Encouragé à continuer, il opte pour une licence de droit, à Orléans. Il n'exercera jamais le métier d'avocat, décidant à la place d'épouser sa véritable vocation : le théâtre.



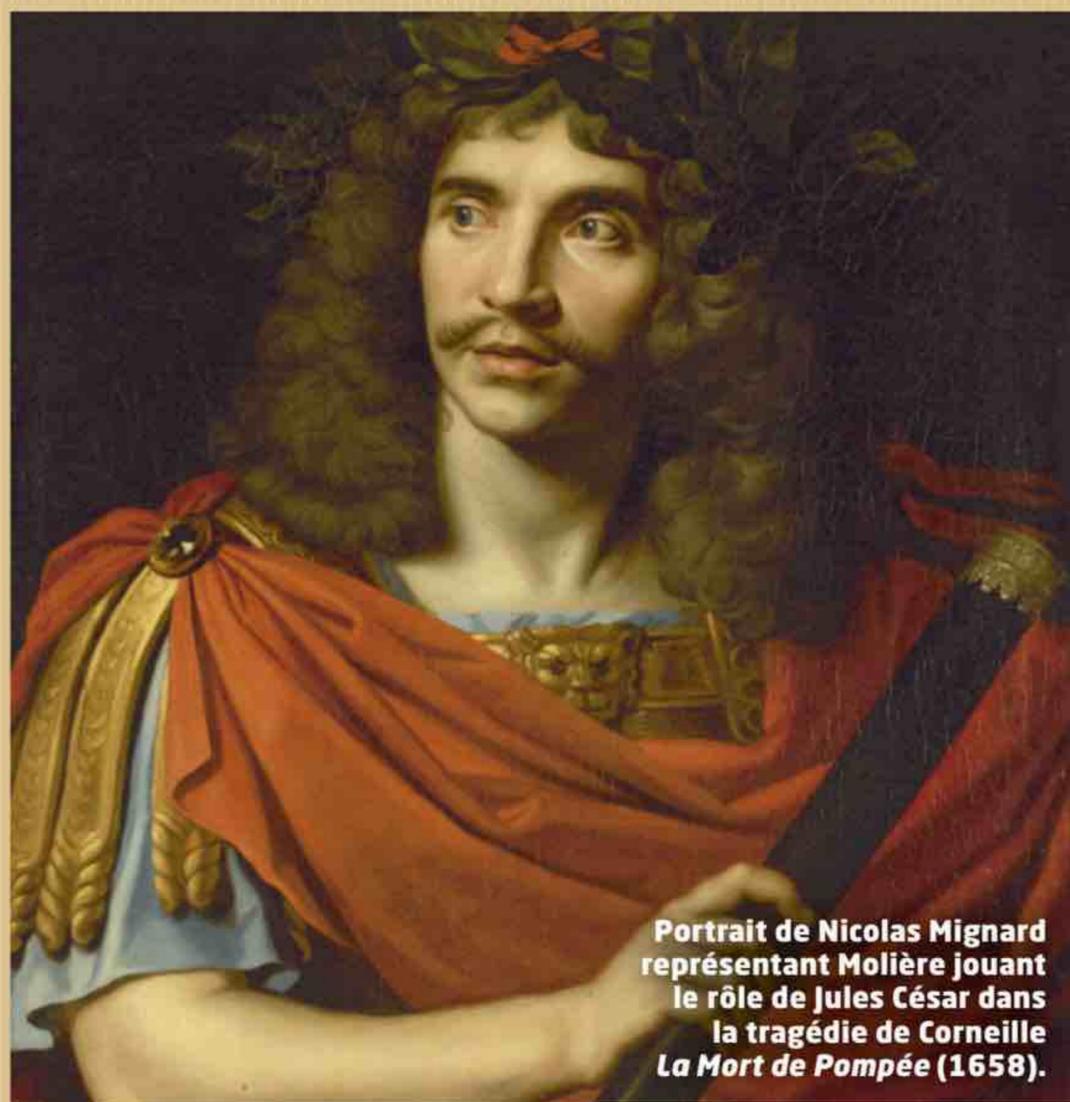
Élève brillant, Molière a obtenu son bac au prestigieux lycée Louis-le-Grand (Paris V^e), alors baptisé collège de Clermont.

3 D'où vient son pseudonyme ?

Le mystère reste entier. L'intéressé lui-même n'a jamais jugé bon de l'expliquer à quiconque. Les moliéristes se divisent en deux camps : ceux qui pensent à un hommage à l'écrivain François-Hugues de Molière (vers 1600-1624) et ceux qui défendent la thèse d'une provenance géographique. Comme Georges Forestier, professeur à la Sorbonne et biographe de Molière : « Beaucoup de lieux-dits situés à proximité de sites de meuliers portent le nom de Molière. Tout simplement. Molière a donc choisi un nom champêtre comme les autres "noms de guerre" des comédiens de son temps. » De nos jours encore, plus d'une quinzaine de lieux-dits et communes tirent leur appellation de carrières de pierre à meule (utilisées pour les meules des moulins) ou de ces pierres de construction dites meuliers.

4 A-t-il connu un succès immédiat ?

Non. En 1643, il est membre fondateur de l'illustre Théâtre. C'est à cette époque qu'il devient « Molière ». Cette troupe, dont il est chef en plus d'être acteur, est en concurrence avec d'autres scènes parisiennes. Proposant un répertoire limité à quelques tragédies et tragi-comédies, elle multiplie les échecs face à une offre plus attrayante et un public non extensible. Ses « fours » incitent Molière à quitter Paris à l'automne 1645. Bientôt rejoint par sa troupe, il se produit en province et l'itinérance leur réussit. Le duc d'Épernon, gouverneur de Guyenne (Aquitaine), leur accorde sa protection, ainsi que le très haut placé et cousin de Louis XIV, prince de Conti. Lorsque celui-ci devient subitement dévot et part en croisade contre les comédiens, l'ascension de la troupe connaît un revers. Elle regagne la capitale en 1658 et connaîtra bientôt ses premiers grands succès, sous l'aile de Monsieur, le frère du roi.



Portrait de Nicolas Mignard représentant Molière jouant le rôle de Jules César dans la tragédie de Corneille *La Mort de Pompée* (1658).

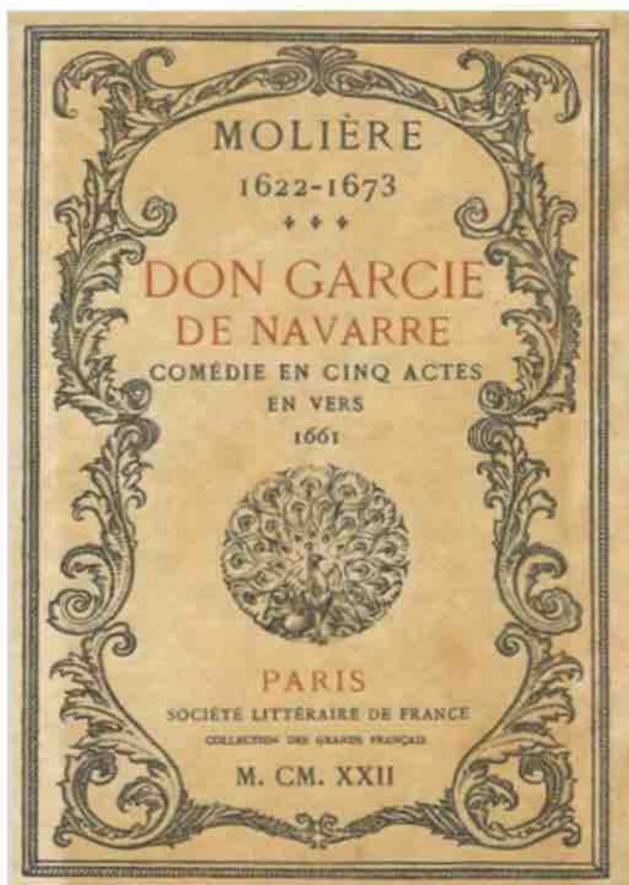
5 Était-il misogyne ou féministe ?

Gardons-nous de tout anachronisme et replaçons Molière dans son temps, où l'égalité femme-homme ne se posait pas. Et rappelons qu'il n'était ni théoricien ni philosophe, mais auteur de comédies, dans lesquelles il a, certes, raillé les femmes, pas plus que les faux dévots, les avarés, les cocus... Suivant les pièces, le ton varie. Ouvert dans *L'École des femmes* (1662), laissant entendre que l'éducation

pourrait les soustraire à la tyrannie masculine que leur impose la société, il frise la misogynie dans *Les Précieuses ridicules* (1659), où il met l'accent sur la sottise de jeunes filles superficielles que l'on peut abuser en les flattant. *Les Femmes savantes* (1672) sont plus nuancées. La pièce ne va pas contre leur soif de connaissance, mais les invite à la modestie et fustige celles qui se laissent bluffer par les pédants.

Bon à savoir

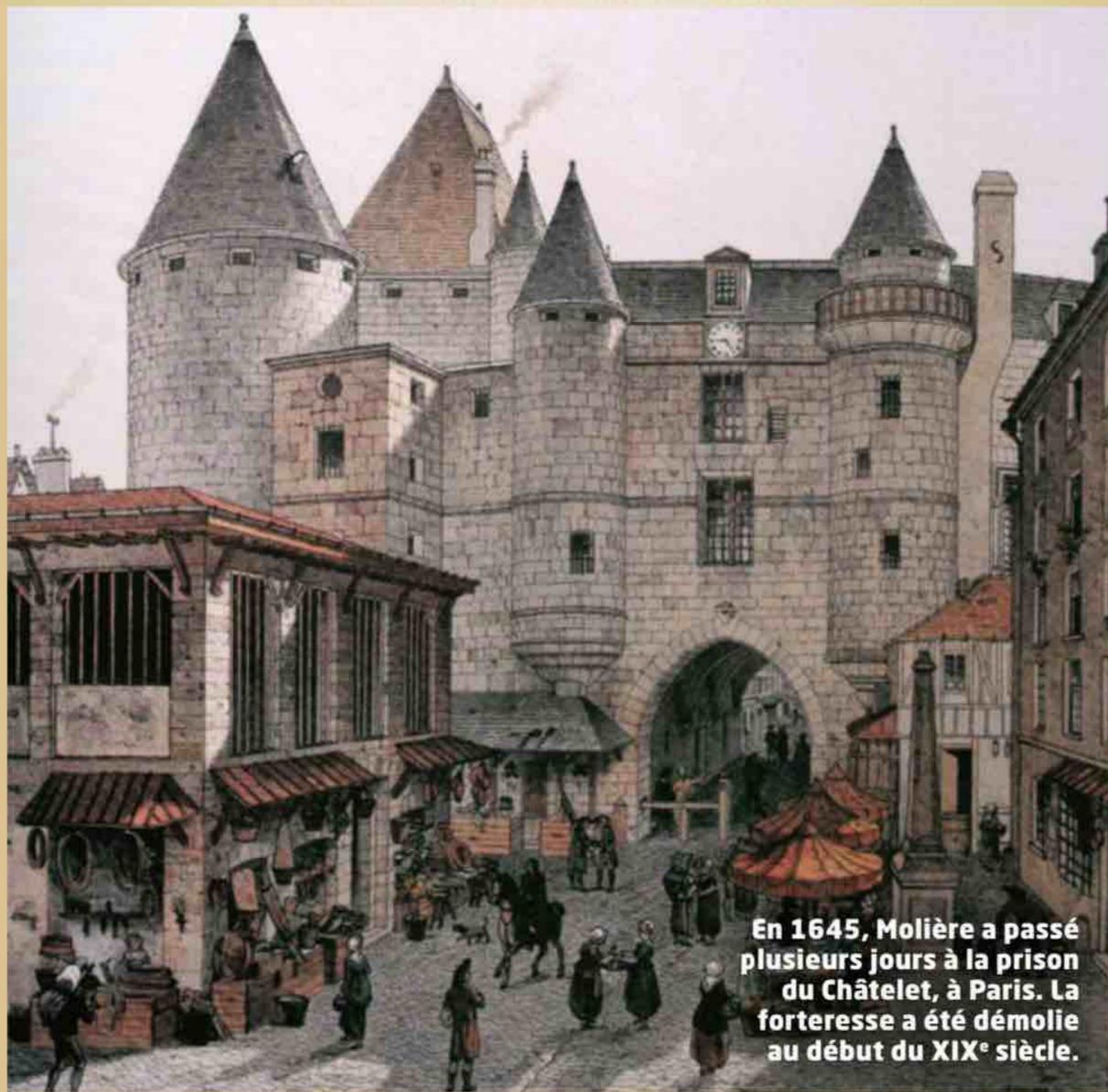
La famille Poquelin réside à Paris, à l'angle de la rue des Vieilles-Étuves (actuelle rue Sauval) et de la rue Saint-Honoré. Leur maison est surnommée « Pavillon des singes » car, en hauteur, sont représentés sept singes suspendus à une poutre en forme de tronc d'oranger.



7 Pour quelle raison a-t-il été emprisonné ?

Pour cause de dettes ! Lorsqu'il crée l'illustre Théâtre, Molière emprunte beaucoup pour transformer une salle de jeu de paume en théâtre, monter des décors, embaucher du personnel et des artistes. Mais la troupe fait faillite et les créanciers se liguent pour réclamer leur dû, saisissent décors et costumes. Malgré cela, le compte n'y est pas. Or, à l'époque,

on ne blague pas avec les dettes, passibles d'incarcération. Molière est envoyé à la prison du Châtelet en 1645. Libéré sous caution, il y est réincarcéré quelques jours. Et le manège se répète à plusieurs reprises. Certes, il a le droit de sortir la nuit. Suite à un arrangement, les paiements seront étalés sur vingt ans et M. Poquelin père finira par mettre la main à la poche.



En 1645, Molière a passé plusieurs jours à la prison du Châtelet, à Paris. La forteresse a été démolie au début du XIX^e siècle.

6 Est-ce qu'il n'a écrit que des comédies ?

Molière s'est essayé une fois à la tragédie avec *Dom Garcie de Navarre* (1661), sans rencontrer son public. Une exception confirmant son titre de maître de la comédie. S'il n'a pas inventé le genre (lequel existait depuis l'Antiquité gréco-romaine), il l'a renouvelé en puisant dans des formes existantes, telles les farces du Moyen Âge. Ces petites pièces bouffonnes, à l'intrigue simple et divertissante, ont connu un regain lorsque Molière les a intégrées à ses comédies. Il a également tiré parti de la *commedia dell'arte* italienne, spectacle populaire datant du XVI^e siècle, reposant sur l'improvisation et le travestissement. Lui a créé la comédie-ballet (*Les Fâcheux*, 1661), divertissement de cour où la danse et la musique prennent toute leur part, ancêtre de la comédie musicale.

8 Pourquoi *Le Tartuffe* a-t-il subi la censure ?

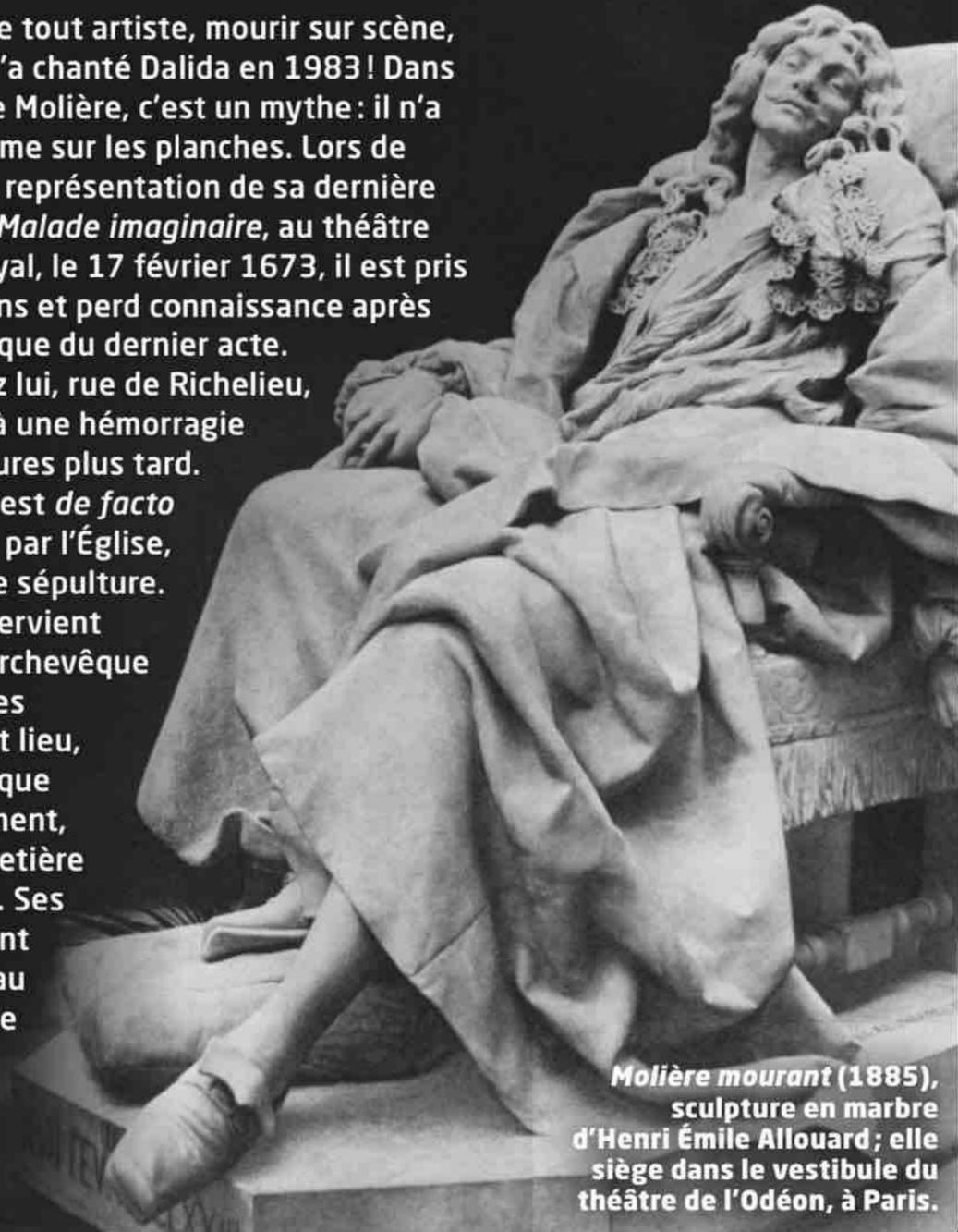
Une première version, *Le Tartuffe ou l'Hypocrite*, a été jouée à Versailles en 1664. La dénonciation de la fausse piété et des faux dévots attire les foudres de la Compagnie du Saint-Sacrement, société secrète et sorte de police des mœurs, et de forces religieuses très influentes. Cette « cabale des dévots », qui se pique de défendre la pureté de la religion, l'accuse d'être libertin. Louis XIV, son protecteur, est indirectement visé pour sa vie licencieuse. Panulphe a remplacé Tartuffe dans *L'Imposteur*, une deuxième version remaniée et édulcorée, néanmoins interdite après une seule représentation publique en 1667. La troisième version, celle qui nous est parvenue, est enfin autorisée avec le soutien du roi, en 1669.



Tableau de Nicolas-André Monsiau représentant Molière lisant *Le Tartuffe* chez la femme de lettres Ninon de Lenclos (1802).

9 Est-il vraiment mort sur scène ?

Le rêve de tout artiste, mourir sur scène, comme l'a chanté Dalida en 1983 ! Dans le cas de Molière, c'est un mythe : il n'a pas rendu l'âme sur les planches. Lors de la quatrième représentation de sa dernière comédie, *Le Malade imaginaire*, au théâtre du Palais-Royal, le 17 février 1673, il est pris de convulsions et perd connaissance après l'ultime réplique du dernier acte. Ramené chez lui, rue de Richelieu, il succombe à une hémorragie quelques heures plus tard. Comédien, il est de facto excommunié par l'Église, donc privé de sépulture. Louis XIV intervient auprès de l'archevêque de Paris et ses obsèques ont lieu, de nuit, presque clandestinement, le 21, au cimetière Saint-Joseph. Ses cendres seront transférées au Père-Lachaise en 1817.



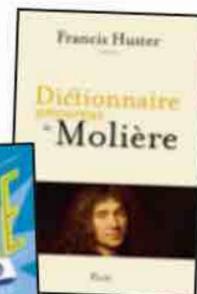
Molière mourant (1885), sculpture en marbre d'Henri Émile Allouard; elle siège dans le vestibule du théâtre de l'Odéon, à Paris.

10 La Comédie-Française a-t-elle été fondée de son vivant ?

Théâtre national public missionné pour jouer le répertoire classique, la Comédie-Française est surnommée « Maison de Molière ». De quoi induire en erreur car elle a été créée en 1680, soit sept ans après la mort du comédien-dramaturge. Elle est née de la volonté de Louis XIV de réunir, et mettre sous sa coupe, les deux troupes rivales de Paris. Celle de l'Hôtel de Bourgogne et celle du Palais-Royal, jadis dirigée par Molière, fusionnée avec celle du Marais après son décès et installée à l'Hôtel Guénégaud. Le roi va jusqu'à choisir les 27 comédiens et comédiennes composant cette troupe d'excellence, lui offrant le monopole des représentations en français, à Paris et dans les faubourgs. Il faut attendre 1799 pour qu'elle se fixe à son adresse actuelle, au Palais-Royal, salle Richelieu.

Pour aller plus loin

- **Dictionnaire amoureux de Molière**, de Francis Huster, Éditions Plon, 653 pages, 26 €.
- **Molière vu par une ado**, de Cécile Alix, Poulpe Fictions, 312 pages, 11,95 €.



5 œuvres majeures

L'École des femmes

Date 1662

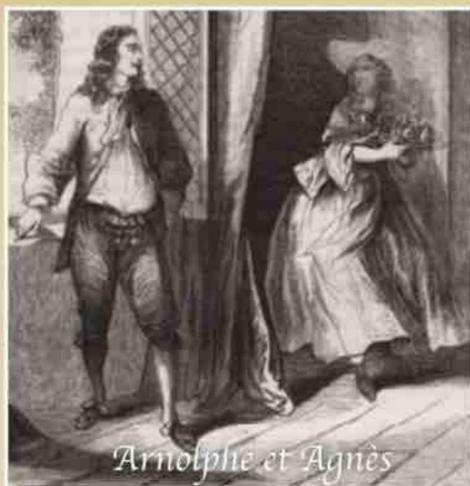
Histoire Arnolphe a recueilli Agnès à 4 ans et l'a envoyée au couvent pour en faire une future épouse ignorante et fidèle. Mais voilà que la jeune femme s'est éprise d'Horace...

Morale de la pièce

Les femmes devraient être libérées du carcan moral de la religion et de l'autoritarisme des hommes pour s'éveiller à l'amour et à l'intelligence.

Réception Entre succès et calomnie, Molière réplique en mettant en scène *La Critique de L'École des femmes* (1663), où partisans et pourfendeurs de la pièce échangent leurs points de vue.

Réplique célèbre AGNÈS: «Le petit chat est mort.» (Acte II, scène 5)



Arnolphe et Agnès

Dom Juan ou Le Festin de Pierre

Date 1665

Histoire Dom Juan multiplie les conquêtes féminines, sans scrupule. Face à son refus de se repentir, il est promis à l'Enfer, foudroyé par la statue animée du Commandeur qu'il a jadis tué.

Morale de la pièce Sans foi ni morale, Dom Juan incarne la transgression sous toutes ses formes. Plus que ses travers en eux-mêmes, Molière condamne sa démesure.

Réception Le succès est au rendez-vous, pourtant la pièce cesse d'être jouée après quinze représentations, prise dans une polémique dénonçant son impiété.

Réplique célèbre DOM JUAN: «Je crois que deux et deux sont quatre, Sganarelle, et que quatre et quatre sont huit.» (Acte III, scène 1)



Dom Juan

Le Misanthrope

Date 1666

Histoire

Alceste ne pardonne aucun défaut, sauf à Célimène qu'il aime. Mais elle refuse la vie de recluse qu'il lui propose et il part seul.

Morale de la pièce

Molière donne une leçon de tolérance: vouloir imposer la vertu la plus rigoriste, dire à tous leurs quatre vérités, c'est déclarer la guerre au genre humain.

Réception Pas de controverse autour de cette pièce, mais un accueil tiède du public, sans doute désorienté par son caractère plus sérieux.

Réplique célèbre ALCESTE: «L'ami du genre humain n'est point du tout mon fait.» (Acte I, scène 1)



Alceste

L'Avare

Date 1668

Histoire

Harpagon n'a qu'une seule obsession, l'économie d'argent. Pris dans des imbroglios sentimentaux, il lui importe surtout le devenir de son magot d'or caché qu'on lui a dérobé.

Morale de la pièce Portrait réaliste et satirique d'une nouvelle classe bourgeoise en pleine ascension, elle montre comment l'argent tend à pervertir l'amour ou toute valeur.

Réception Comédie en prose, son succès a été mitigé, les contemporains de Molière attendant des vers.

Réplique célèbre VALÈRE: «(...) il faut manger pour vivre, et non pas vivre pour manger.» (Acte III, scène 1)



Harpagon

Le Bourgeois gentilhomme

Date 1670

Histoire

Monsieur Jourdain est un bourgeois en quête de noblesse au point de se faire manipuler et d'accepter de devenir Mamamouchi, un dignitaire oriental.

Morale de

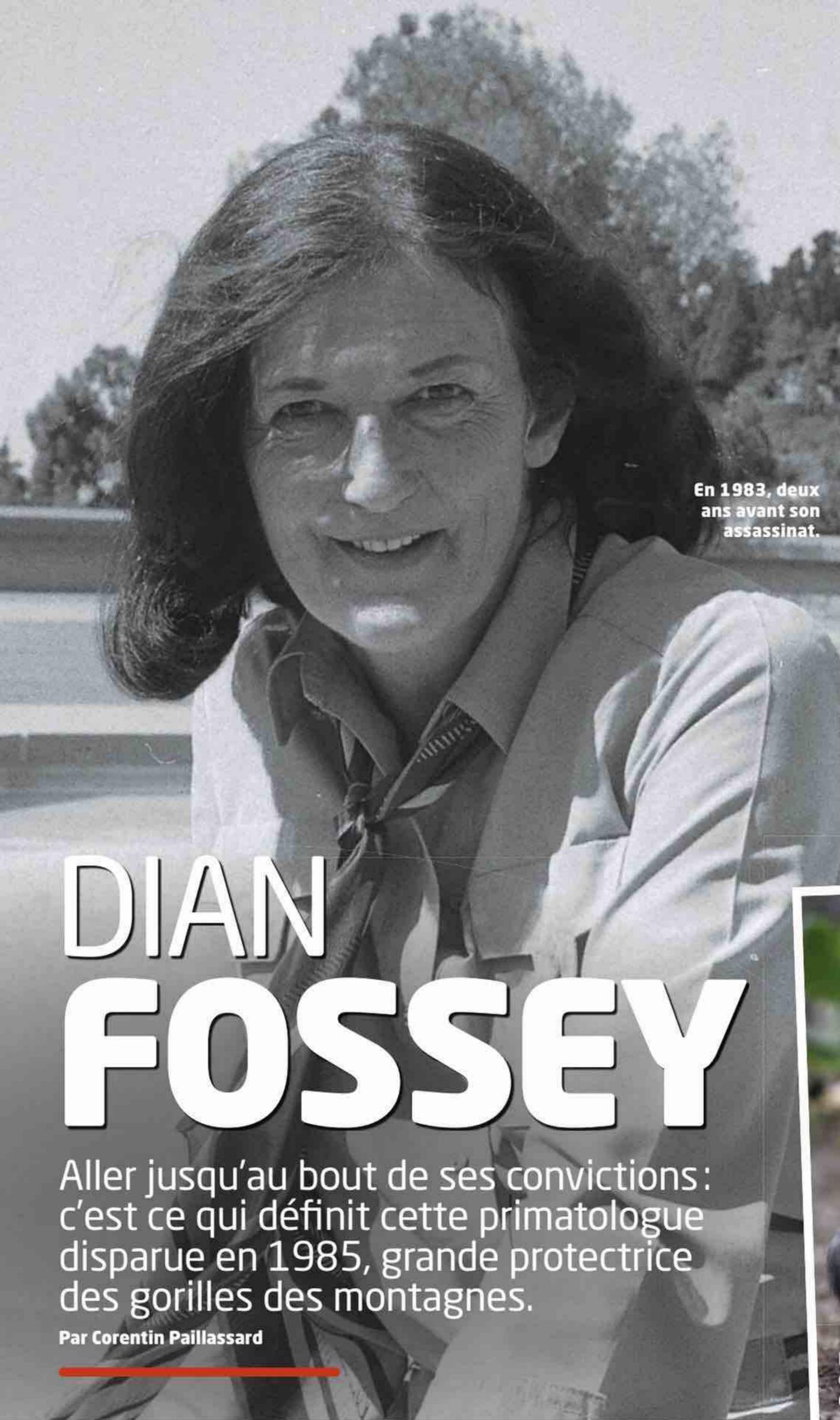
la pièce Molière raille les bourgeois qui veulent imiter les nobles et une certaine aristocratie malhonnête. Prônant le naturel, il tourne en ridicule toute forme de prétention.

Réception Associant comédie, musique et danse, cette comédie-ballet réjouit les spectateurs, avides d'effets spectaculaires. S'ajoute le thème en vogue des «turqueries».

Réplique célèbre MONSIEUR JOURDAIN: «Par ma foi, il y a plus de quarante ans que je dis de la prose, sans que j'en susse rien (...).» (Acte II, scène 4)



Monsieur Jourdain

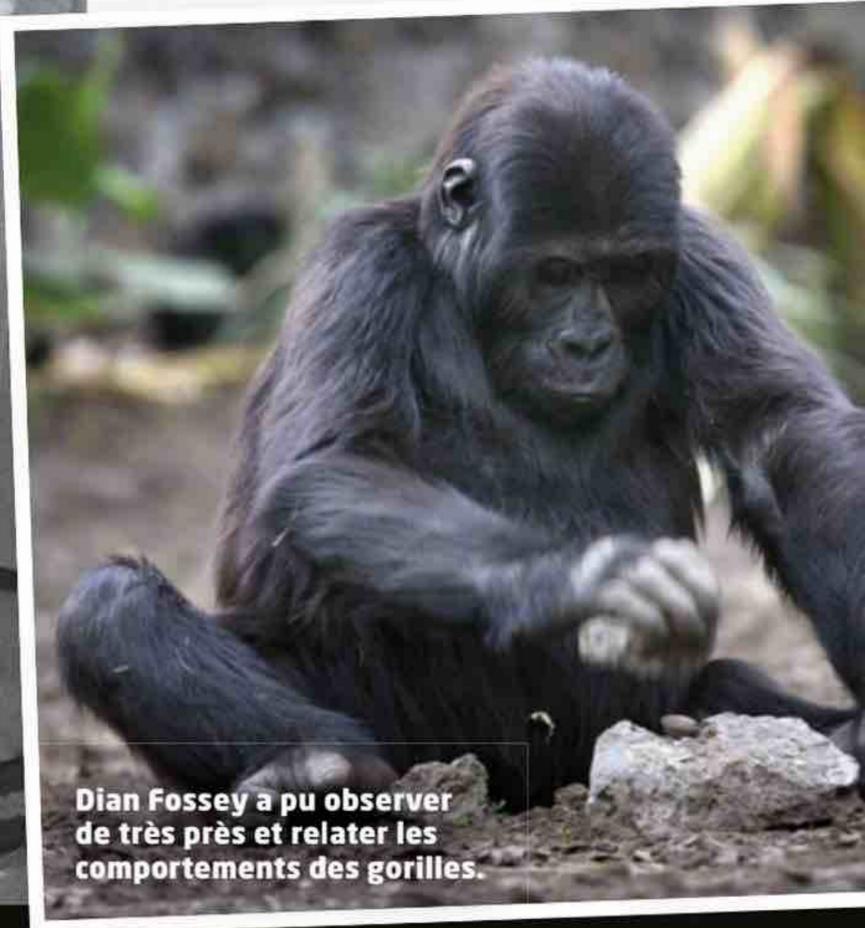


En 1983, deux ans avant son assassinat.

DIAN FOSSEY

Aller jusqu'au bout de ses convictions : c'est ce qui définit cette primatologue disparue en 1985, grande protectrice des gorilles des montagnes.

Par Corentin Paillassard



Dian Fossey a pu observer de très près et relater les comportements des gorilles.

Les dates clés

1932

Elle naît le 16 janvier à San Francisco, en Californie. Ses parents divorceront l'année de ses 6 ans.

1963

Voyage en Afrique où elle rencontre pour la première fois des gorilles et le savant Louis Leakey.

1966

Grâce à un financement du Dr Leakey, elle part étudier les grands singes au Congo puis au Rwanda.

1970

Elle apparaît en une de *National Geographic*, apportant au monde un regard neuf sur les gorilles.

1974

Elle obtient son doctorat de zoologie à l'université de Cambridge (Angleterre).

en Afrique, Dian étudie la primatologie et le swahili (une langue bantoue parlée dans l'est et une partie du centre du continent), puis s'envole – à la fin de la même année – pour la République démocratique du Congo. Dès 1967, elle doit quitter le pays alors en pleine crise politique, et se rend dans le nord du Rwanda, dans les montagnes des Virunga. Elle s'y installe et fonde le Centre de recherche Karisoke dans le Parc national des volcans.

Imiter pour apprivoiser

S'ensuivent dix-huit années d'étude scientifique des gorilles des montagnes (*Gorilla beringei beringei*). Inspirée par les méthodes du biologiste américain George Schaller (né en 1933), Dian habitue les animaux à sa présence en imitant leur comportement : marcher à genoux, grogner, mâcher des plantes... Cette proximité avec les grands singes lui permet de faire de nombreuses découvertes sur les comportements alimentaires et sociaux des gorilles, comme le fait que les femelles changent parfois de groupe au cours de leur vie ou que les mâles dominants (les dos argentés) peuvent tuer des petits nés d'autres mâles. La médiatisation qui en découle, dans le magazine *National Geographic* notamment, révèle au monde que les gorilles

sont des animaux sensibles, loin des bêtes sauvages décrites parfois. Très engagée contre le braconnage, omniprésent dans cette zone, la primatologue le combat de toutes ses forces avec des méthodes parfois brutales, voire illégales : patrouille anti-braconniers, utilisation de superstitions pour effrayer les locaux, et même torture. Son activisme en fait un personnage controversé, qui ne noue pas forcément de bonnes relations avec les populations locales, notamment les éleveurs.

Son assassinat, en 1985, à l'intérieur même de son camp, demeure un mystère, le coupable restant inconnu à ce jour. Braconniers, chercheurs d'or, politiques... Dian Fossey s'était fait de nombreux ennemis au fil de ses luttes. Mais son combat a porté ses fruits : les gorilles des montagnes sont les seuls grands singes qui ont vu leur population croître au cours des dernières décennies, même s'ils sont toujours en danger d'extinction. 📍

Très engagée contre le braconnage, elle le combat de toutes ses forces, parfois brutalement



La cabane où Dian Fossey a vécu et mené ses recherches sur les gorilles (Centre Karisoke, au Rwanda) fut détruite, avec d'autres installations du camp, lors du génocide de 1994.

Son héritage

1. Gorilles dans la brume

Dans ce récit autobiographique publié en 1983, Dian Fossey raconte sa vie au milieu des gorilles et ses combats pour les protéger. C'est un best-seller, qui sera adapté au cinéma en 1988 par Michael Apted, avec Sigourney Weaver dans le rôle de la primatologue et de vraies images de gorilles filmés au Rwanda. Le film est un succès critique et commercial, nommé aux Oscars et récompensé aux Golden Globes.

2. Le Centre de recherche Karisoke

Fondé par Dian Fossey le 24 septembre 1967, cet institut est consacré à l'étude des gorilles des montagnes. Détruit trois fois au cours de son histoire, son site historique est maintenant un lieu touristique, mais le centre continue ses activités dans la ville de Musanze (Rwanda). Il emploie aujourd'hui une centaine de personnes et propose de l'enseignement en plus de ses activités de recherche.

3. Le Dian Fossey Gorilla Fund

Initialement nommé Digit, d'après le gorille favori de Dian Fossey, tué par des braconniers, cet organisme prendra le nom de la scientifique en 1992. Dédié à la protection et à l'étude des gorilles, le fonds administre le Centre de recherche Karisoke, organise des patrouilles anti-braconniers et gère des actions d'aide aux populations au Rwanda.

© Getty

1977

Mort du gorille Digit, tué par des braconniers : elle intensifie son action et crée l'année suivante le Digit Fund.

1983

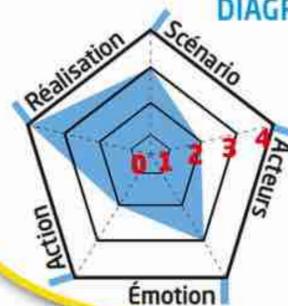
Publication de *Gorillas in the Mist*. Un best-seller qui devient le livre de référence sur les gorilles.

1985

Elle est assassinée le 27 décembre près de sa cabane à Karisoke et enterrée dans le cimetière pour gorilles qu'elle avait créé.

1988

Gorilles dans la brume, film adapté de son autobiographie, est un succès. Il replace son combat sur le devant de la scène.



- 0. Mauvais, c'est zéro!**
1. Moyen, décevant.
2. Pas mal.
3. C'est bien.
4. Excellent!
- Plus la forme bleue est grande, plus notre avis est élogieux.



FILM
MES FRÈRES ET MOI
Sauvés par la musique

De Yohan Manca, avec Maël Rouin Berrandou, Judith Chemla, Dali Benssalah... Au cinéma le 5 janvier.

Le receleur, le dealer, le dragueur et le plus jeune, Nour, 14 ans, corvéable à souhait. Bienvenue parmi une fratrie de débrouillards d'une cité du sud de la France en apparence bien « cliché ». La chronique familiale qui va irrésistiblement bouleverser les témoins commence tranquillement, sur une plage. Nour soliloque en regardant ses frères jouer au foot et se disputer pour de vrai / pour de faux. Il a déjà du recul sur la vie que ses aînés l'obligent à mener. Condamné à du travail d'intérêt général pendant l'été, il espionne une classe de chant lyrique en

repeignant les couloirs de son école. La prof étonnée le repère et enrôle malgré lui le gamin farouche.

On préférerait ne rien dire de la suite de l'intrigue qui fait de ces gaillards sans éducation, parfois brutaux, des individus à part entière que l'on va haïr, comprendre puis aimer. Première rupture du récit attendu, Nour écoute de la musique d'opéra et sait chanter. Deuxième rupture et entrée dans l'intimité de ces garçons sans père : les frères s'occupent eux-mêmes de

leur mère mourante avec une délicatesse inattendue. Troisième rupture enfin, l'irruption de la prof de chant dans leur vie change le regard de chaque protagoniste.

À fleur de peau, tous les acteurs sont d'une justesse redoutable. Des colères aux indignations, des sanglots aux regards pleins d'espoir, l'émotion passe sans filtre de l'un à l'autre jusqu'au spectateur.



FILM
OUISTREHAM
Histoire d'amitiés vraies



D'Emmanuel Carrère, avec Juliette Binoche, Hélène Lambert, Léa Carne... Au cinéma le 12 janvier.

« **D**eux cent soixante cabines à nettoyer et remettre en état en une heure trente », soit, pour chaque femme de ménage, quatre minutes par cabine

comprenant deux lits superposés et, bien sûr, salle de bains / W.-C. Un travail de « quasi-esclaves domestiques » à exécuter tôt le matin ou en pleine nuit. Voilà le rythme de travail imposé aux agents d'entretien des ferries du port de Caen-Ouistreham faisant la liaison avec l'Angleterre.

Après le livre-enquête de la journaliste Florence Aubenas dont le film s'inspire librement, entourée de vraies employées de ménage

rejouant le jeu de leur vie, c'est au tour de l'actrice Juliette Binoche de s'immerger dans le quotidien de ces « invisibles ». Et si l'on découvre, effaré, le destin de la demandeuse d'emploi sans qualification devenue femme de ménage par nécessité, c'est le parcours de vie de chaque être humain que l'on retient. Témoignage indispensable, le film fait exister une formidable histoire d'amitié et de solidarité. Émouvant jusqu'aux larmes.



SÉRIE
THE GREAT - SAISON 2
Décoiffant d'audace

De Tony McNamara, avec Elle Fanning, Nicholas Hoult, Gillian Anderson... Série en 10 épisodes de 55 min sur Starzplay (inclus avec Canal+ Séries).



Ils sont de retour et toujours aussi fous : les costumes classiques, les situations burlesques ou ubuesques, les dialogues saignants et crus, les acteurs comme les personnages historiques revisités par cette série décoiffante d'audace. Dans les rôles de l'impératrice russe Catherine la Grande et de son époux Pierre III, Elle Fanning et Nicholas Hoult s'en

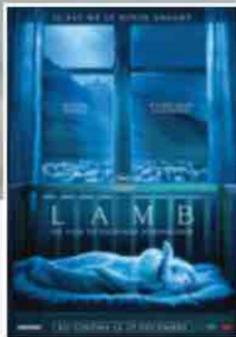


donnent à cœur joie. Désormais mariés, les deux s'affrontent sans merci dans le palais pour le pouvoir. Enceinte de leur progéniture, Catherine va évidemment gagner face à son fanfaron et imbécile époux. La vérité historique le confirme, sans doute racontée autrement. Cerise inédite ajoutée à cette réjouissante pièce montée et perruquée, le rôle de la mère, jouée par Gillian Anderson (*The Crown, Sex Education...*), confirme la valeur culte de la série.



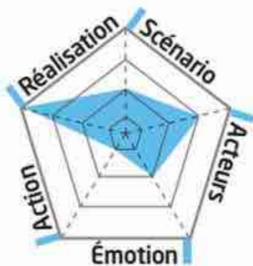
FILM
LAMB
Il est né le divin agneau

De Valdimar Jóhannsson, avec Noomi Rapace, Hilmiir Guðnason, Björn Hlynur... Au cinéma le 29 décembre.



Voir ce film glacial en hiver ne devrait pas être recommandé et pourtant, il sort le 29 décembre dans nos salles. La beauté immémoriale des paysages d'Islande fascine toujours tout en faisant frissonner. Ne voyons-nous pas dans ces étendues désertiques et brumeuses à quoi ressemblait la Terre avant l'homme et la civilisation ?

Isolé dans ce décor de début ou de fin du monde, un couple élève tout simplement des moutons. Et puis, à la naissance d'un agneau pas comme les autres, le film aux allures de documentaire naturaliste glisse doucement dans l'étrange. Pourquoi, sans rien changer à leur routine de fermiers, le couple traite-t-il cet agneau comme un nourrisson humain ? Un conte nordique ésotérique et plutôt inquiétant sur la parentalité.



FICTIONS DOUTEUSES



FILM
MADELEINE COLLINS
L'art du mensonge

« On ne prête qu'aux riches », dit-on. Une carrière de traductrice interprète dans des conférences de prestige, un mari chef d'orchestre et deux garçons, Virginie Efira a tout pour elle. Au point même de cumuler un mystérieux deuxième foyer avec un autre homme et une petite fille. Dans un rôle ambigu d'épouse bourgeoise en totale maîtrise ou au bord de la crise de nerfs – le suspense repose sur cette interrogation –, Efira donne l'occasion d'observer à la loupe le travail d'une actrice. Car quand, jusqu'au fond des yeux, une comédienne ment à l'écran avec la même sincérité troublante que le personnage de fiction qu'elle incarne, le spectateur médusé assiste à une mise en abîme du métier d'acteur : le mensonge dans le mensonge.

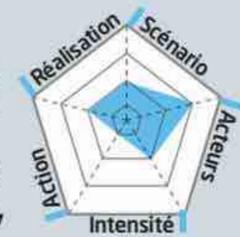


D'Antoine Barraud, avec Virginie Efira, Bruno Salomone, Quim Gutiérrez... Au cinéma le 22 décembre.



SÉRIE
LA MEILLEURE VERSION DE MOI-MÊME - SAISON 1
Humour indigeste

Si rire aux éclats prend parfois aux tripes le spectateur, quid de l'humoriste elle-même qui a mal au ventre après son spectacle ? « C'est parce que le public rit DE vous et non pas à votre humour », avance l'analyste de la pauvre Blanche Gardin abattue par cette révélation. Dans un exercice d'autofiction semi-improvisé proche de la série *Louie* de Louis C.K. (star contestée du stand-up aux États-Unis, celui-ci apparaît en visioconversation), notre humoriste nationale pousse le bouchon de l'humour corrosif jusqu'à ses intestins. Autoflagellation, humour scatologique ou dérangeant, la parole se libère sans que la drôlerie soit garantie. Mais c'est sûr, tout est faux, prévient Blanche dans une note d'intention. Ouf.

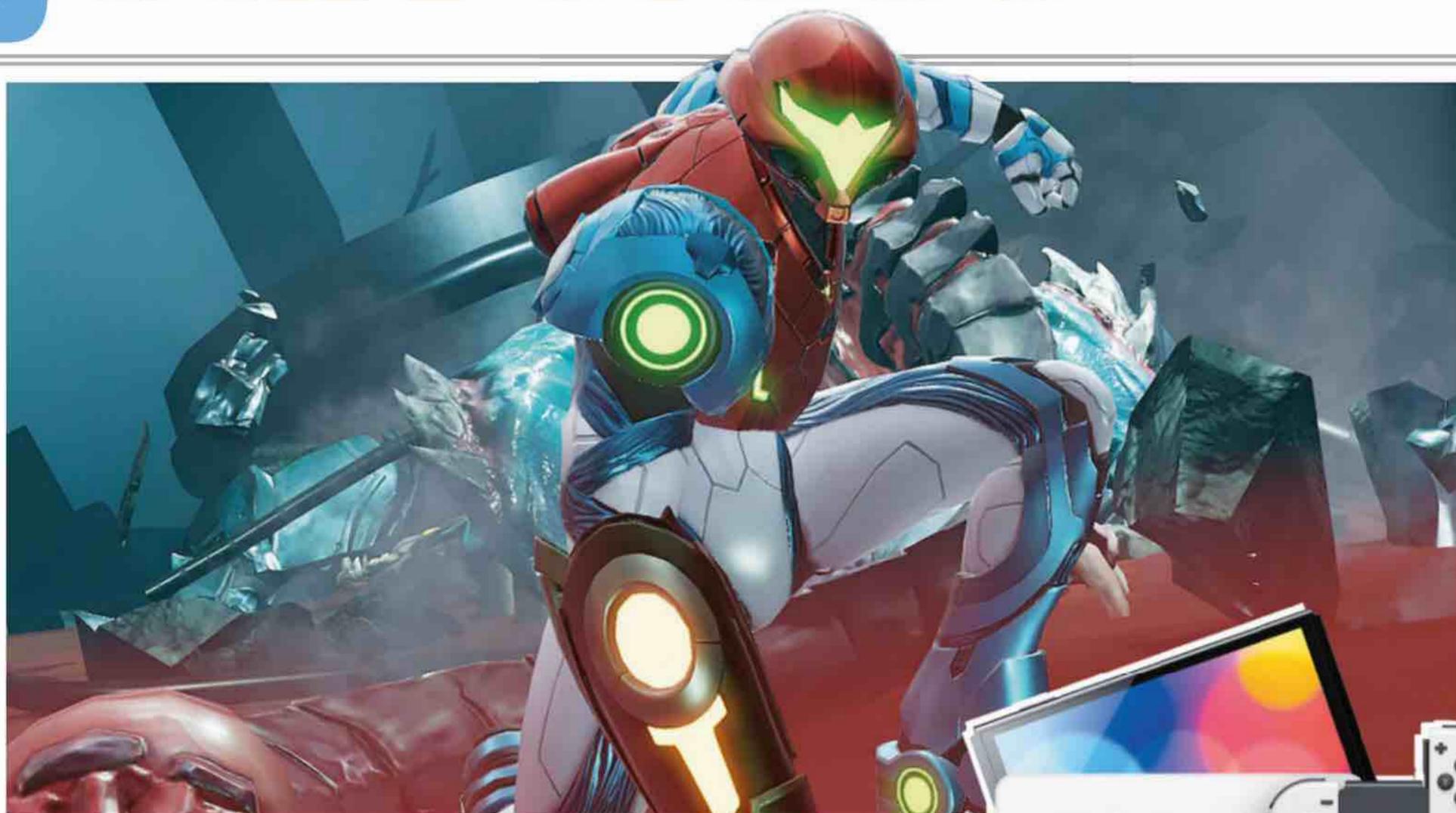


De et avec Blanche Gardin, Paul Moulin, Louis C.K.... Série en 9 épisodes de 26 min sur MyCanal et Canal+.

Jeux vidéo

PAR FRANÇOIS BLISS
DE LA BOISSIÈRE

* PEGI, norme de classification
des jeux par âge : www.pegi.info



METROID DREAD + SWITCH OLED Oled soit qui mal y pense



Supports : Switch Oled
(compatible Switch
et Switch Lite)

Genre : action-tir-aventure

1 joueur

PEGI* : à partir de 12 ans

**Nintendo, jeu 60 €
Console Switch Oled, 350 €**



Nintendo ne commercialise jamais une nouvelle console sans l'associer à un jeu qui la justifie et la met en valeur. Mario, son frère Luigi et les Zelda ont eu ce rare honneur. En 2021, c'est au tour de *Metroid*, série SF Nintendo mature et culte depuis 35 ans, de faire valoir la presque nouvelle console Switch. Presque, parce que cette Switch au suffixe Oled n'est pas l'espéré modèle en 4K, mais une console équipée d'un écran Oled là où le modèle classique utilise un écran LCD. Un poil

plus large (7 pouces au lieu de 6,2), cet écran amélioré garde néanmoins la même définition (720p en mode portable, 1080p relié à la TV). Mis à part l'ajout d'une prise Ethernet en complément du wifi, et un stockage doublé (64 Go au lieu de 32), la Switch Oled 2021 abrite la même technologie et ne propose donc pas plus de puissance, même en mode « docké » relié à la TV.

Pour autant, l'écran Oled offre à ce nouveau jeu *Metroid* un écrin digne de son histoire. Grâce aux contrastes infinis de

la technologie d'affichage Oled, les couleurs brillent d'un feu nouveau, y compris sur tous les jeux du catalogue Switch. Mais il s'agit d'abord de la résurrection glorieuse de Samus Aran, l'une des toutes premières héroïnes du jeu vidéo, camouflée dans son armure iconique de chasseuse de primes de l'espace. *Metroid Dread* signe son grand retour et, surtout, celui du si apprécié et influent gameplay original en 2D. Modernisé, cet opus réinvente ainsi le cœur interactif et mental (s'orienter dans le dédale) de l'aventure des années 1980. Porté par les moyens technologiques de 2021 et l'écran de la Switch Oled, *Metroid* redevient contemporain.



MARVEL'S GUARDIANS OF THE GALAXY Les nouveaux champions du jeu vidéo



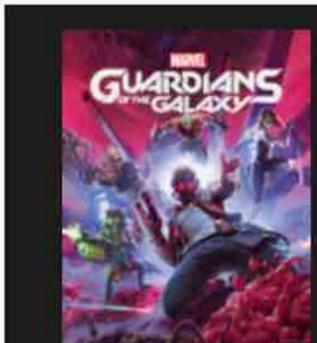
Personne n'attendait une telle réussite. En jeu vidéo, les chamailleurs Gardiens de la Galaxie n'ont rien à envier à ceux du cinéma ! La production ambitieuse s'impose dès la première mission. L'équipe hétéroclite de mercenaires de l'espace cherche son chemin à travers un gigantesque cimetière de vaisseaux spatiaux englués dans des bulles de matière rose (la « nanorésine ») qui ressemble

furieusement à du chewing-gum. Plus tard, la flore sinieuse d'une planète orageuse évoque de la guimauve luisante.

Depuis Pandora d'*Avatar*, on n'avait pas visité des planètes aussi belles et folles. Psychédéisme, surréalisme et humour visuel cohabitent avec décontraction et imagination. Particulièrement bien écrites, les disputes hilarantes des héros égocentres, vanneurs et jamais d'accord, surfent sur une bande-son années 1980 choc (Simple Minds, Wham!, Blondie,

A-Ha...). Le tout soutenu par une généreuse partition orchestrale hollywoodienne.

Plus important encore, manette en main, entre balade-découverte, exploration, mini-cassettes et combats où Star-Lord commande à distance ses partenaires Drax, Gamora, Groot et même le grognon Rocket, le gameplay tout terrain entretient la flamme. Privilège rare, *Les Gardiens de la Galaxie* rentrent ainsi dans le club très fermé des adaptations réussies en jeu vidéo.



Supports : PC, PS4, PS5, Xbox One et Series
Genre : action-aventure
VF et VO : sous-titrée
1 joueur
PEGI* : à partir de 16 ans
Square Enix, 70 €



QUÊTES EXISTENTIELLES

SABLE Qui suis-je?

Dessin au trait façon BD ligne claire, couleurs pastel, dunes et plaines de sable, solitude, vestiges ésotériques de civilisations...



Serions-nous dans les albums *Arzach*, *Le Garage Hermétique* ou *L'Incal* signés Mœbius ? Pour la première fois, un jeu vidéo s'inspire ouvertement du grand nom de la BD franco-belge Jean Giraud, alias Mœbius. À pied ou



à dos d'« aérocycle », un personnage mystérieux hante un monde désertique et des temples oubliés à la recherche d'indices et de masques à collectionner. Un jeu paisible d'exploration, de dialogues écrits presque littéraires, de contemplation et de quête de soi.

Supports (téléchargement) : PC, Xbox One et Series
Genre : aventure-mystère en monde ouvert
Textes en anglais (traduction française attendue)
Inclus dans abonnement Xbox Game Pass
1 joueur
PEGI* : tout public
Raw Fury, 25 €

JETT Où vais-je?

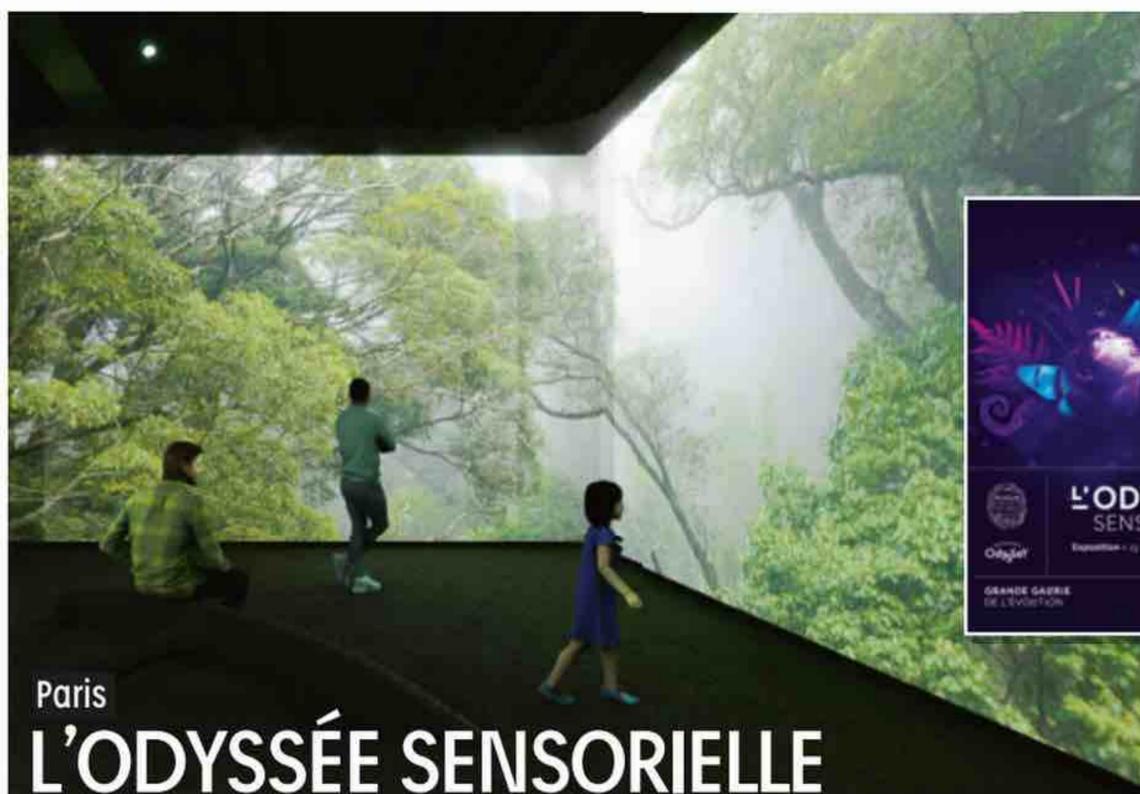
Il est temps de partir. La vie sur Terre n'est plus tenable, l'odyssée de l'humanité dans l'espace commence. D'abord et surtout aux commandes d'un petit aéronef, le « Jett », utile à survoler la mer agitée d'une planète océanique et rechercher des îlots de terre ferme. Gauche à manipuler avec hélas des saccades visuelles, même sur PS5, *Jett* est un ovni conceptuel. Conçue par un collectif d'artistes, graphistes et musiciens repérés avec le jeu en pixel art *Superbrothers : Sword & Sworcery EP* (2011), l'aventure spatiale appelle à méditer autant qu'à jouer. Mystique, la BO donne l'impression de participer à un *space opera*.



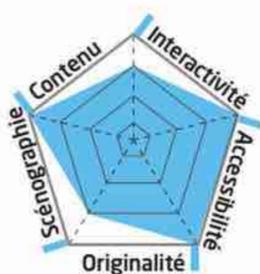
Supports (téléchargement) : PC, PS4, PS5
Genre : pilotage-exploration
VO (langue imaginaire) sous-titrée
1 joueur
PEGI* : à partir de 7 ans
Superbrothers, 30 €

Sorties & Expos

PAR MICHELLE
FOUCART-ORSEL
ET CORENTIN
PAILLASSARD



Paris L'ODYSSÉE SENSORIELLE Le plein de nature



Après avoir innové avec l'expérience de réalité augmentée « Revivre » l'année dernière, le Muséum national d'histoire naturelle nous surprend de nouveau avec un parcours en immersion visuelle, sonore et olfactive dans plusieurs écosystèmes : du pôle Nord à la forêt tropicale, en passant par la savane, les prairies et les sous-bois de nos pays tempérés. Le visiteur déambule dans

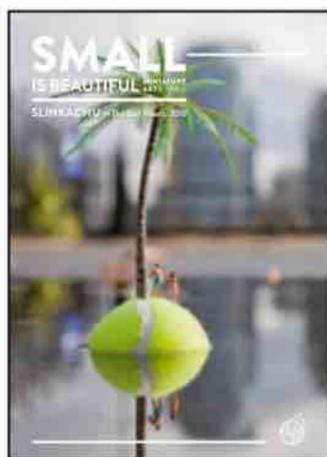
des salles obscures où, grâce à des films projetés sur des écrans panoramiques, il se retrouve plongé au cœur de la nature sauvage, enveloppé des bruits environnants et, nouveauté, d'odeurs.

Chaque univers se pare ainsi de senteurs appropriées : effluves de félins dans la salle « savane », de champignons quand on est plongé dans les sous-bois, de fleurs dans la prairie... Les images en ultra-haute

définition sont magnifiques, telles celles filmées depuis la canopée d'une forêt tropicale qui nous transportent lentement jusqu'au sol, ou celles, macroscopiques, d'insectes devenus géants sur les écrans. Un voyage captivant au cœur de notre remarquable environnement.

« L'Odysée sensorielle », au Muséum national d'histoire naturelle (Paris), jusqu'au 4 juillet. Tarifs : 13 € / 10 €. Plus d'infos sur : www.mnhn.fr

© Projectiles / MardiB / Sensory Odyssey; Nicolas Pierre; Mimiam; Esha Bijutkar; Patrice Stable; Industria / Brad Branson and Fritz Kok; ASEISTE

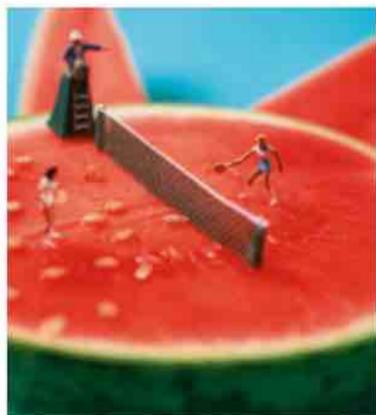


Paris SMALL IS BEAUTIFUL Chez les Lilliputiens

L'art de créer des mondes miniatures s'expose entre les murs de la Galerie Joseph, à Paris. On y découvre les œuvres de vingt artistes

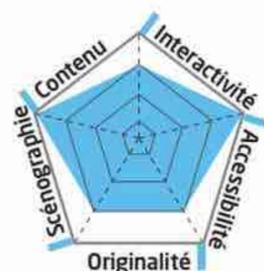
internationaux à l'imagination débordante, capables de faire d'une pastèque un court de tennis ou d'un lacet, le monstre du Loch Ness.

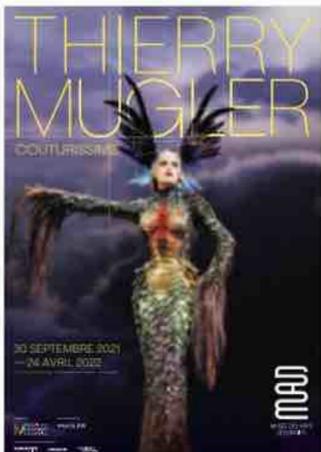
Parmi les talents représentés, on peut admirer les tout petits plats cuisinés de l'Indienne Esha Bijutkar ou les minuscules décors insolites de l'Allemand Frank Kunert. On s'émerveille devant les peintures de la Sud-Africaine Lorraine Loots, qui, sur 1 cm², réussit à reproduire des paysages



ou des objets avec moult détails. Ouvrez grand vos yeux pour admirer ces petites merveilles !

« Small is beautiful », à la Galerie Joseph (Paris), jusqu'au 15 janvier. Tarifs : 13,50 € / 11 €. Plus d'infos sur : www.smallisbeautifulart.com





Paris
THIERRY MUGLER. COUTURISSIME
Une ode à l'inventivité

Dans la famille des grands couturiers, Thierry Mugler fait partie des plus audacieux et des plus surprenants. Celui qui se réjouissait de « fracasser des clichés » s'est retiré

de la mode il y a vingt ans déjà, après avoir collaboré à de multiples projets dans le spectacle, la musique, le théâtre... Le musée des Arts décoratifs lui consacre une rétrospective généreuse

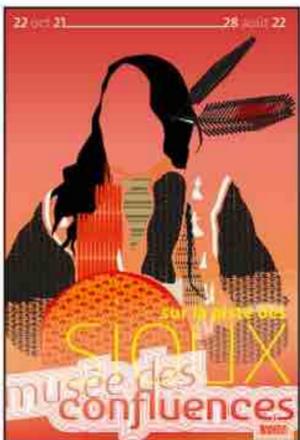
où l'on peut admirer plus d'une centaine de vêtements spectaculaires aux lignes organiques (manteaux insectes, robe méduse...), industrielles (tailleur pneu, bustier pare-chocs...) ou futuristes (combinaisons articulées en métal chromé). Retrouvez également des accessoires, des vidéos – dont le clip

« Too Funky » (1992) de George Michael, qui met en scène un défilé de mode du styliste –, des dessins du créateur et de nombreuses photographies de top models portant les tenues visibles dans l'expo. Éblouissant.

« **Thierry Mugler. Couturissime** », au musée des Arts décoratifs (Paris), jusqu'au 24 avril. Tarifs: 14 € / 10 €. Plus d'infos sur: www.madparis.fr



Lyon
SUR LA PISTE DES SIOUX
Images de l'Ouest



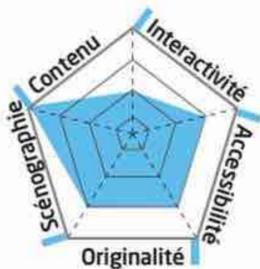
Tipis, haches de guerre, calumets de la paix, coiffes en plumes et totems: les premiers habitants du continent américain sont associés dans l'imaginaire collectif français à un ensemble de symboles, souvent fantasmés. Cette exposition s'attache à montrer

comment s'est formée cette image de « l'Indien d'Amérique », à travers des peintures, publicités, films, et surtout des spectacles comme le fameux *Wild West Show* de Buffalo Bill (1883).

La pièce centrale de l'exposition présente une impressionnante collection de vêtements et accessoires ayant appartenu à des Amérindiens venus présenter leur culture à l'Exposition universelle de Bruxelles de 1935. Elle fait également le lien avec leurs descendants, n'occultant pas les souffrances subies par ces peuples et l'importance de préserver leurs cultures. **C. P.**

« **Sur la piste des Sioux** », au musée des Confluences (Lyon), jusqu'au 28 août. Tarifs: 9 € / 5 € / gratuit -18 ans et étudiants -26 ans. Plus d'infos sur: www.museedesconfluences.fr

Niort
ENSEIGNER LA PHYSIQUE ...
TOUT UN ART!
Les instruments du savoir



L'essor intellectuel que la France a connu au XVIII^e siècle s'est accompagné de la diffusion de nouvelles connaissances dans de nombreux domaines. C'est le cas de la physique, que l'on

enseignait jusqu'alors de façon très théorique, et qui devint « expérimentale ».

Dans les cabinets de physique, on pouvait ainsi, pour la première fois, observer des organismes invisibles au microscope, être soumis à des secousses électriques par les bouteilles de Leyde, tester des aimants... On ouvrit des « écoles centrales » comportant des cours de physique et de chimie expérimentales. La quantité d'instruments mis au

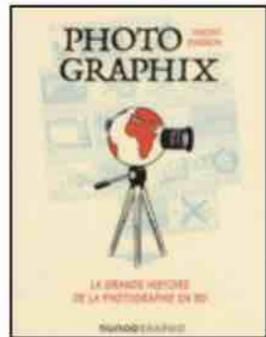


point à cette époque (et jusqu'au XIX^e siècle) est remarquable et le musée Bernard d'Agesci, à Niort (Deux-Sèvres), en présente une sélection exceptionnelle: microscopes de Magny, graphomètre, pistolets de Volta, pyromètre à cadran... Environ 60 pièces incroyables qui reflètent l'engouement pour cette science au siècle des Lumières.

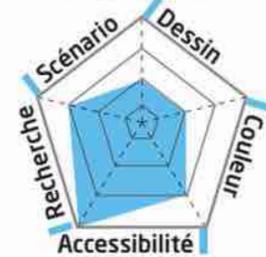
« **Enseigner la physique... Tout un art!** », au musée Bernard d'Agesci (Niort), jusqu'au 6 mars. Tarifs: 5 € / gratuit -25 ans. Plus d'infos sur: www.niortaggio.fr

SCIENCES & TECHNIQUES

PHOTOGRAPHIX LA GRANDE HISTOIRE DE LA PHOTOGRAPHIE EN BD



Dunod Graphic,
176 pages, 19,90 €



de Vincent Burgeon (scénario,
dessin et couleurs)

Souriez... Ne bougez plus !

Vincent Burgeon s'attarde sur ces visionnaires qui, dès l'Antiquité, étudient les phénomènes optiques. Au seuil du XIX^e siècle, les Français Niépce et Daguerre élaborent des techniques d'impression sur plaques de pierre, puis de



cuivre ; l'Anglais Fox Talbot imagine le concept de négatif/positif et popularise l'utilisation du papier, à la base de la photographie moderne. Burgeon s'étend sur ses

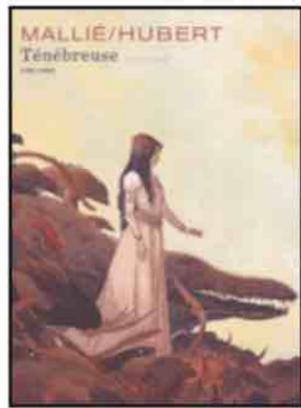
spécificités médiatiques et artistiques. Le livre se conclut sur la nouvelle donne numérique. Une série de notes savantes complète cette joyeuse encyclopédie.

FANTASTIQUE

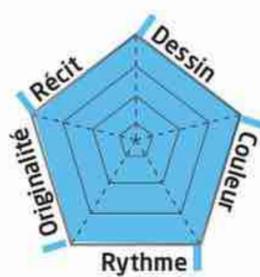
TÉNÉBREUSE, TOME 1

d'Hubert (scénario) et Vincent Mallié (dessin)

Il était une fois...



Dupuis,
80 pages,
19,95 €



Arzhur n'est pas au mieux de sa forme. Ce chevalier errant se révèle surtout bien naïf, embarqué par un trio de harpies dans une histoire un peu trop grande pour lui. Quant à Islen, une malheureuse princesse cloîtrée dans son castel et entourée de bestioles carnassières, pas sûr qu'elle soit si en détresse que cela.

Une fois encore, Hubert dynamite les mythes, joue avec les faux-

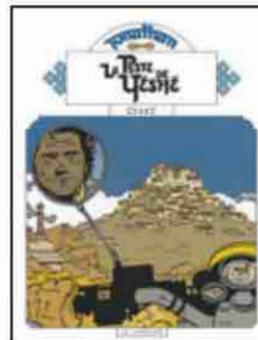
semblants et entraîne le lecteur dans une quête émancipatrice, un conte tour à tour drôle et cruel. Le tout soutenu par le trait réaliste et baroque de Vincent Mallié.



AVENTURE

JONATHAN, TOME 17: LA PISTE DE YÉSHÉ ET À L'HEURE OÙ LES DIEUX DORMENT ENCORE

de Cosey (scénario et dessin)



Le Lombard,
56 pages, 12,45 €
Daniel Maghen,
304 pages, 49 €



Jonathan, qui doit son prénom à Jonathan Livingstone le goéland, le roman de Richard Bach (1970), parcourt les pistes de terre battue du Tibet, un Tibet désormais

Jusqu'au bout de la route



Cosey
À l'heure où les dieux dorment encore



sous contrôle de l'armée chinoise. L'occasion pour l'auteur de revenir sur un certain nombre d'étapes de son passé. « C'est un peu mon autobiographie imaginaire, reconnaît Cosey. Jonathan est une sorte de moi fantasmé, une version améliorée!

Je m'amuse à glisser dans ses aventures un tas d'anecdotes autobiographiques vécues au cours de mes voyages dans les mêmes contrées. »

Notons la sortie en parallèle de *À l'heure où les dieux dorment encore*, un magnifique livre d'images commentées par l'artiste.

SCIENCE-FICTION

GOLDORAK

de Xavier Dorison et Denis Bajram (histoire), Denis Bajram, Brice Cossu et Alexis Sentenac (dessin), Yoann Guillo (couleurs), d'après l'œuvre de Gô Nagai

Série culte



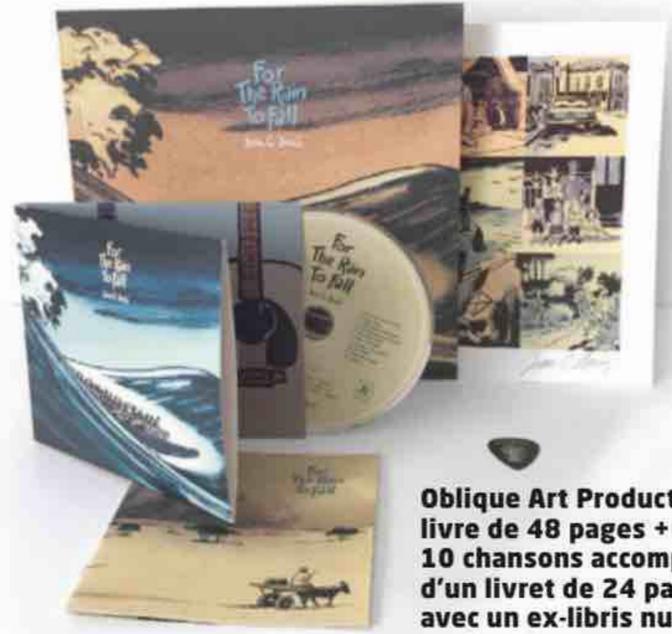
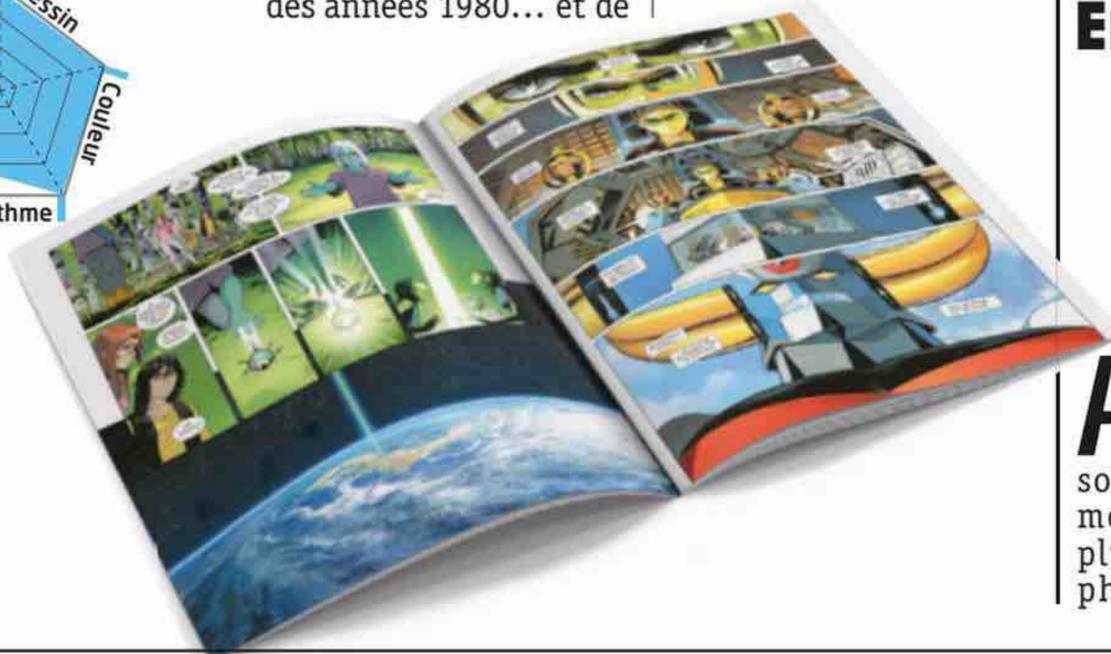
Kana, 168 pages, 24,90 €



« Un rêve d'enfant ! » C'est ainsi que les cinq signataires de cet ouvrage résument leur collaboration. Pour les plus jeunes, rappelons que Goldorak, un gigantesque robot piloté par Actarus, le prince d'Euphor, et combattant les forces obscures de Véga, fit les beaux jours des cours de récré des années 1980... et de

la société française qui commençait tout juste à s'ouvrir aux premiers dessins animés japonais et aux mangas.

Nostalgique, un peu inventif et respectueux, beaucoup, cet album, qui se situe dix ans après la fin de la série originale, pourrait bien sonner le retour fracassant du géant d'acier !



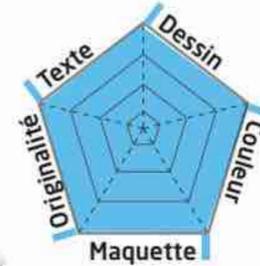
Oblique Art Production, livre de 48 pages + CD de 10 chansons accompagné d'un livret de 24 pages, avec un ex-libris numéroté et signé à 220 exemplaires et un médiateur offert, 39 €

LIVRE-DISQUE

FOR THE RAIN TO FALL

de Jean C. Denis (texte et dessin)

En écoutant les images



Leroi, des contes et autres livres de voyage, Jean C. Denis se passionne par ailleurs pour la musique, écrivant, composant et enregistrant plusieurs dizaines de chansons. Mêlant textes en anglais et en français, ainsi que des illustrations inédites, *For the Rain to Fall* transpose visuellement son univers musical.

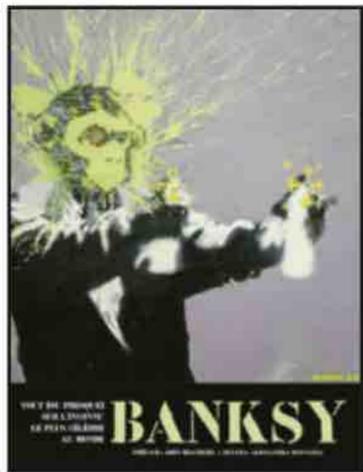
Auteur singulier, à la tête d'une œuvre tendre et poétique, souvent teintée d'humour, où se croisent plusieurs romans graphiques, sa série *Luc*

BEAU LIVRE

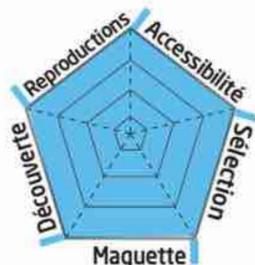
BANKSY

d'Alessandra Mattanza, préface de John Brandler

Révolution'art



Éditions Alternatives, 240 pages, 29,90 €



En octobre dernier, le *street artist* le plus célèbre – dont on ne connaît paradoxalement ni le visage ni l'identité – a encore fait parler



de lui quand sa toile *La Fille au ballon*, dont il avait organisé la destruction lors d'une mise aux enchères en 2018, s'est vendue 21,8 millions d'euros, sous le nouveau nom de *L'Amour est dans la poubelle*. Tant de

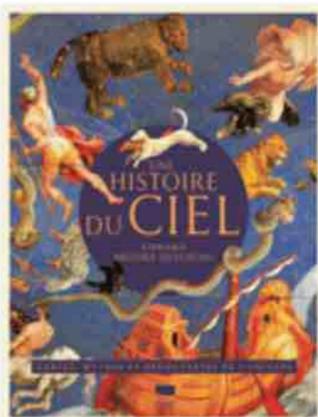
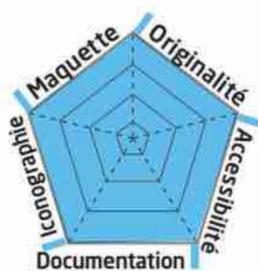


mystères nous donnent envie de disposer de toutes les clés. Quel meilleur moyen que ce livre ? Il est d'abord une immersion totale dans l'œuvre de Banksy grâce à environ 150 reproductions d'excellente qualité. Ses

textes, ensuite, dressent un portrait de l'artiste – autant que faire se peut – qui passe par la force de l'anonymat et par l'analyse de son travail d'« artiste » : « Banksy n'est pas un visage, c'est un message ». Bien reçu !

BEAU LIVRE**UNE HISTOIRE DU CIEL**

d'Edward Brooke-Hitching

Les yeux au cielDelachaux et Niestlé,
256 pages, 29,90 €

Les cartes nous évoquent en premier lieu la géographie de la Terre. Rarement nous est donné de voir une cartographie du ciel, surtout une histoire de celle-ci, remontant à la préhistoire. Car on découvre dès le départ dans cet ouvrage que la première carte céleste se trouve dans la grotte de Lascaux!

Qui dit ciel dit naissance de celui-ci et de l'Univers. L'auteur nous familiarise avec tous les mythes de la création, à travers les cultures les plus diverses, puis les percées scientifiques au fil des siècles. Face à cette iconographie exceptionnelle, au caractère instructif des articles, on lève quand même le nez des pages pour admirer ce ciel, un peu plus fasciné.

ET AUSSI...**DOCUMENT****L'HISTOIRE D'APPLE 45 ANS D'INNOVATIONS**

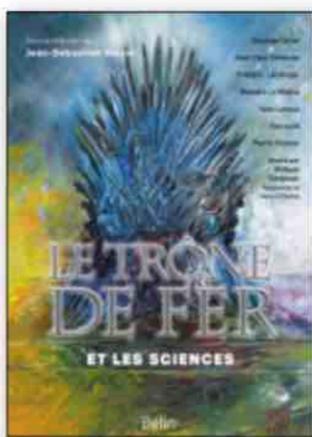
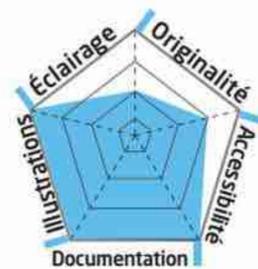
de Nicolas Sabatier

Pour quiconque s'intéresse à l'informatique et son histoire, l'économie, l'innovation, le marketing. En prenant un à un tous les produits sortis par Apple depuis les origines, en y mêlant les portraits des acteurs phares, au premier rang desquels Steve Jobs, ce livre explore quantité de thèmes avec une précision clinique. Il y va enfin de ses projections pour le futur, entre lunettes et voitures, via la politique de rachat ou de recrutement de la société.

Omaké Books, 352 pages, 19,90 €

**DOCUMENT ILLUSTRÉ****LE TRÔNE DE FER ET LES SCIENCES**

sous la direction de Jean-Sébastien Steyer, illustré par William Simpson

Entrez dans le gameBelin Éditeur /
Humensis, 256 pages,
32 €

Plongeons dans le fond de l'œuvre originelle, loin de n'être qu'un pur divertissement pop-corn. Marquant au premier abord par ses quelques très raffinées illustrations réalisées par le storyboarder de la série (celui qui dessine l'histoire à partir du scénario avant la mise en scène), ce beau livre élève le niveau!

Pour cause, la convocation, entre autres, d'un paléontologue, d'un archéologue, d'un psychologue pour analyser, plus largement, la saga littéraire de George R. R. Martin. En imaginant une planète, des territoires, un climat, des espèces, c'est une entière histoire naturelle qu'on doit à l'auteur et la décortiquer nous instruit sur la nôtre en comparaison.

RÉCIT**MADO, 13 ANS, OUBLIE L'EXIL**

de Christine Sagnier

Les débats sur les migrants font peu de place au point de vue des premiers concernés et, comme un écho à des milliers d'autres, l'expérience de cette ado traumatisée d'avoir été arrachée à sa patrie et sachant s'adapter à sa nouvelle vie française mérite d'être entendue. Elle a fui avec les siens la guerre et la répression. Passé le péril de l'évasion avec faux passeports, l'arrivée à Paris est synonyme d'autres épreuves, même si l'accueil fonctionne plutôt bien.

Ateliers Henry Dougier, 166 pages, 16 €



Chaque mois, nous vous faisons (re)découvrir une œuvre de science-fiction qui a sa place dans le panthéon de l'anticipation.

SF

Gare au gorille

Le roman, (trop) rare classique SF français, reste dans l'ombre de ses adaptations cinématographiques. Sa lecture dévoile pourtant sa part d'originalité.

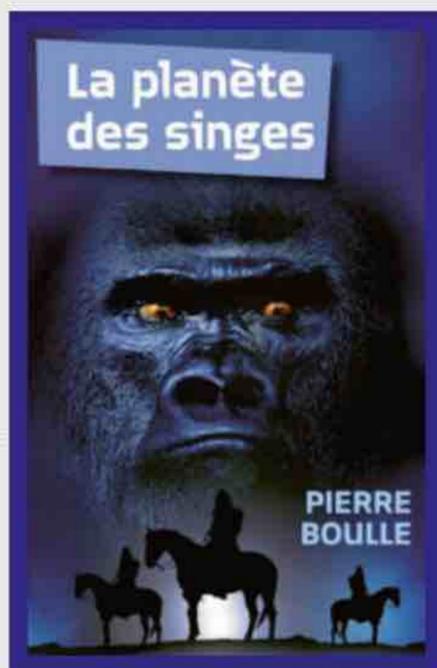
Par Delphine Gaston-Sloan

● L'auteur

Né en Avignon en 1912, ingénieur de formation, il dirige une exploitation de caoutchouc en Malaisie. Quand la Seconde Guerre mondiale éclate, il se met au service de la France libre contre les Japonais. Cette double expérience des combats et de l'Asie lui inspire son roman *Le Pont de la rivière Kwaï* (1952). L'adaptation cinématographique assure sa notoriété, encore amplifiée par un autre film, tiré de son œuvre de SF *La Planète des singes* (1963). Il continue dans le genre avec, notamment, les recueils de nouvelles *Les Contes de l'absurde* (1953) et *E = mc²* (1957) ou le roman *Miroitements* (1982). Pierre Boulle s'est éteint en 1994.

● L'histoire

Une bouteille envoyée dans le cosmos par le journaliste Ulysse Mérou est récupérée par un couple de touristes spatiaux. S'y trouve son témoignage écrit. Membre d'une mission d'exploration sur la planète Soror, quelle ne fut pas sa surprise d'y découvrir des êtres humains réduits à l'état de bétail et dominés par des singes intelligents, se déplaçant à dos de cheval et menant des expérimentations scientifiques sur les hommes ! C'est lorsque ces singes pensants ont compris qu'Ulysse était aussi évolué qu'eux que les problèmes ont commencé...



LA PLANÈTE DES SINGES

de Pierre Boulle,
roman français publié en 1963

● Ses prémonitions

Sur la planète Soror, cédant à la paresse, les humains ont dressé les singes pour qu'ils assument toutes les tâches. Ceux-ci ont gagné en capacités au point de prendre le pouvoir sur une humanité devenue servile par excès d'abrutissement. Boulle alerte sur les conséquences d'un déclin de l'humanité dû au recours généralisé à la robotisation et à l'assujettissement à une intelligence artificielle qui engourdit sous couvert de soulager.

● Les adaptations

Hollywood aurait presque dépossédé l'auteur de son œuvre en produisant le film culte de 1968 avec Charlton Heston, réalisé par Franklin J. Schaffner. Le maquilleur John Chambers a reçu un Oscar d'honneur pour son travail sur les singes. Une série TV de 14 épisodes a aussi été créée en 1974. Tim Burton a livré sa version en 2001. La nouvelle trilogie *La Planète des singes : Les Origines* (Rupert Wyatt, 2011), *L'Affrontement* et *Suprématie* (Matt Reeves, 2014 et 2017) propose, elle, un préquel.

● Le contexte

Si Pierre Boulle a précisé que l'observation des grands singes au zoo lui avait inspiré le thème de son roman, il a aussi confié qu'avoir eu l'occasion d'entrer dans la salle des marchés de la Bourse de Paris s'était révélé tout aussi déterminant ! Sa première réaction avait été : comment imaginer une seconde que les êtres que j'ai sous les yeux sont des *Homo sapiens* ? ! Il ne trouvait pas possible que ces hommes agissent par raison. Il y voyait un comportement animal, dicté par des gestes conditionnés, dépouillés de toute intelligence.

Jeux



Les 6 différences



© Getty - Shutterstock

Sudoku

Complétez les grilles avec des chiffres de 1 à 9 de façon à ce qu'ils n'apparaissent qu'une seule fois dans chaque carré, chaque ligne et chaque colonne.



FACILE

DIFFICILE

			2	8				
		9			7			5
2	7		6			3	4	1
					3	9		
5		3				4		6
		4	8					
9	5	7			1		8	3
6			9			5		
				7	2			

	1		2					9
		8	7					
3	9					8		
9		1		2			6	7
		7	1	9	6	3		
2	8			4		1		9
			9				7	1
						1	2	
	5					2		8

C'est quoi ?

Devinez ce qui se cache derrière ce détail de photo agrandie.



Solutions dans le n° 135

Les chiffres du mois

Ce que nous avons appris en préparant ce numéro...



L'ADN d'un être humain est un code écrit avec

3,5 milliards de « lettres »

Chaque année,

200 milliards de litres

d'urine finissent dans les toilettes des Européens



On peut payer en euros dans

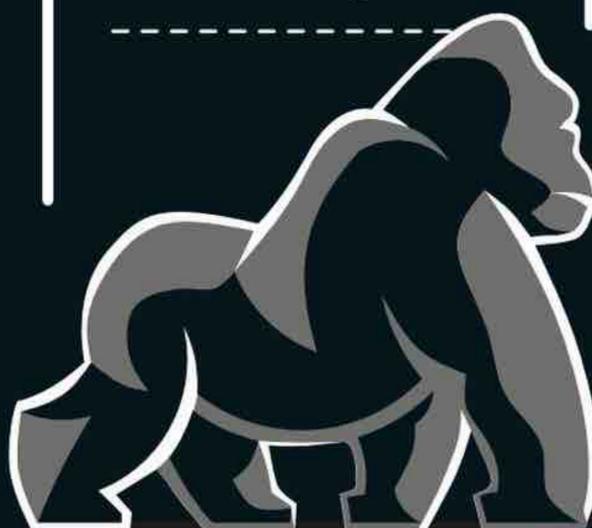
19 pays

de l'UE... ainsi qu'au Kosovo et au Monténégro



En France,

37% des adultes et au moins **20%** des enfants sont myopes



18 ans

C'est le temps qu'a passé Dian Fossey au plus près des gorilles au Rwanda

Molière a vu le jour il y a

400 ans

1/5^e

du volume total d'eau douce déversé dans les océans provient du fleuve Amazone



20 kg

C'est la quantité de denrées alimentaires jetées par an et par Français, dont 1/3 de produits encore emballés

38 m

soit un immeuble de **14 étages**: c'est la hauteur de la vague modélisée par les algorithmes qui s'abattraient tous les 50 ans dans l'océan Austral

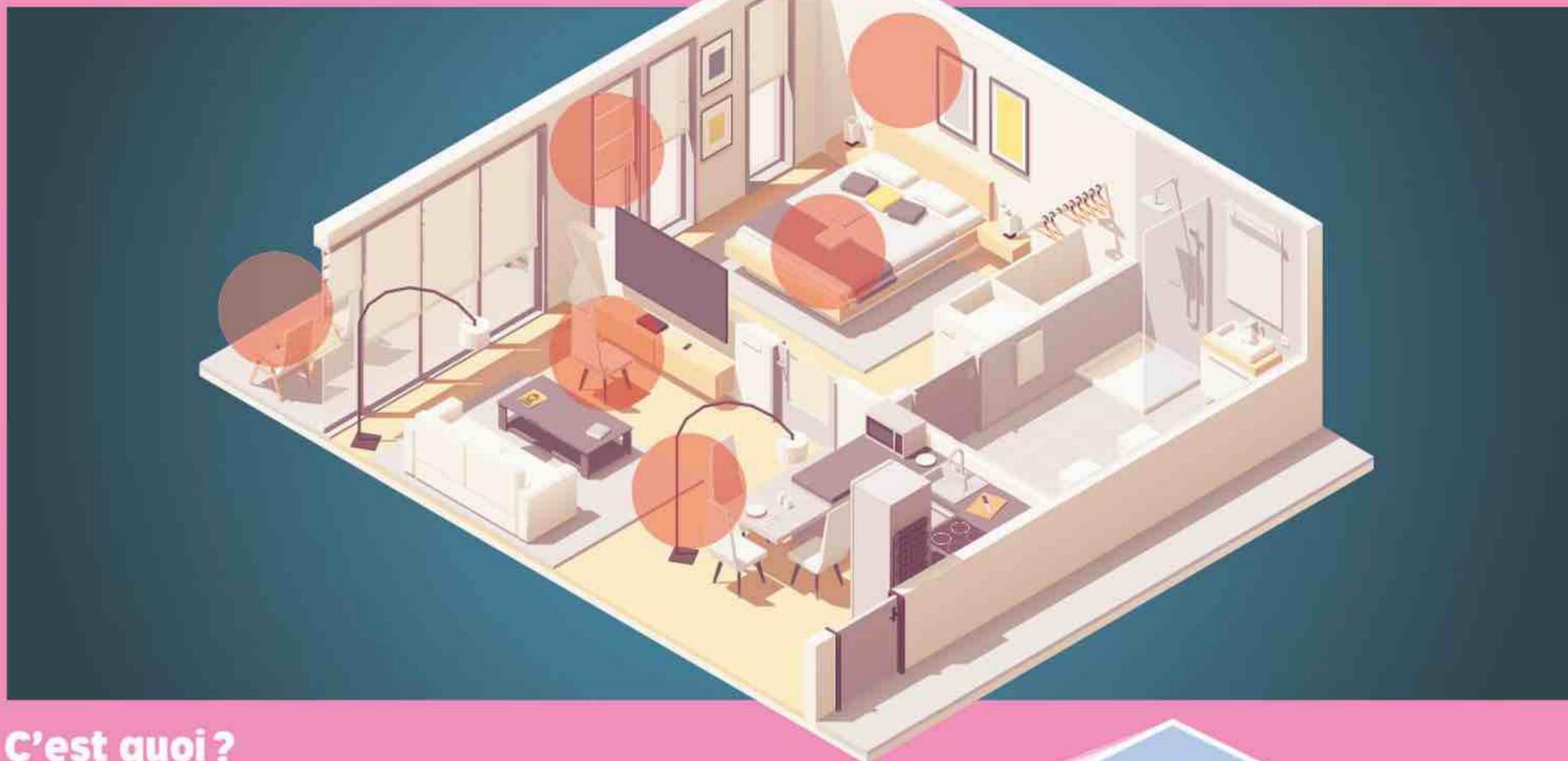


Certains matériaux n'atteignent leur point de fusion qu'autour de

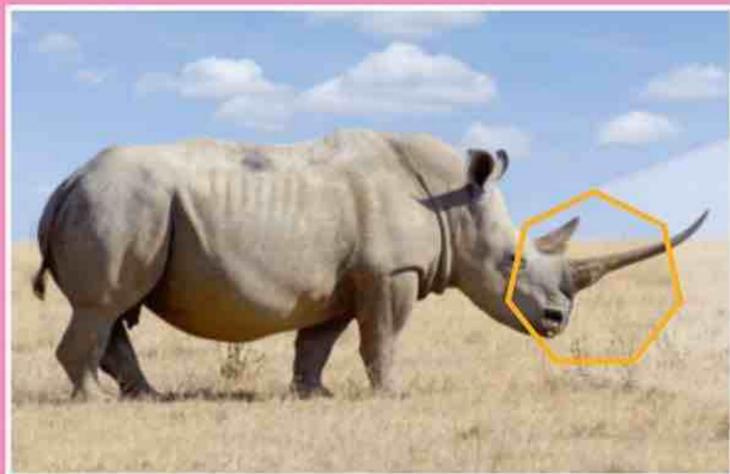
4000°C

Solutions du numéro précédent

Les 6 différences



C'est quoi ?



Une corne de rhinocéros



POUR VOUS ABONNER, GÉRER VOS ABONNEMENTS OU CHANGER DE MAGAZINE

Par téléphone : **01 87 64 05 32** (lun-ven 9h-19h) - de l'étranger, tél : (+ 33) 1 87 64 05 32 - Par mail : relation.abo@fleuruspresse.com - Par courrier : CDN Vivetic, Service Fleurus Presse, 127 rue Charles Tillon, CS 80021, 93308 Aubervilliers Cedex. Pour la Belgique : Edigroup, tél : 070 233 304, abonne@edigroup.be - Pour la Suisse : Edigroup, tél : 022 860 84 01, abonne@edigroup.ch - Pour le Canada : Fleurus Presse, Express Mag, expressmag@expressmag.com • Prix de l'abonnement 1 an (11 n°) : 45€. Mensuel.

Comment ça marche

est édité par

Unique Heritage Presse SAS

au capital de 500 000 €
Siren 338 412 463 RCS Paris
141, boulevard Ney - 75018 Paris
Président : Emmanuel Mounier

Comité de direction :

Emmanuel Mounier (Président et Directeur de la publication),
Christophe Ruet (Directeur général),
Agathe Monneret (Directrice administrative et financière),
Juliette Salin (Directrice générale médias Fleurus Presse),
Albin Quéru (Directeur marketing)

Rédaction :

Karine Jacquet (Rédactrice en chef),
Philippe Lévêque (Directeur artistique),
Clara Baudel (Secrétaire générale de rédaction),

Denis Truchi (Rédacteur-graphiste),
Michelle Foucart-Orsel (Secrétaire de rédaction),
Béatrice Bon (Iconographe)

Ont collaboré à ce numéro :

François Bliss de la Boissière,
Hélène Colau, Louna Esgueva,
Gisèle Foucher, Delphine Gaston-Sloan, Patrick Gaumer, Laurence Gay, Lise Gougis, Cécile Guichon, Victoria Milhomme, Sophie Noucher, Corentin Paillassard, Nathalie Picard, Sylvie Redon-Clauzard, Muriel Valin, Maïa Wasserman

Gestion des ventes au numéro :

(réservé aux dépositaires et aux marchands de journaux)
Isabelle Alliaume (Directrice diffusion et réseau),
tél. : 01 56 79 36 94,

diffusionmdj@fleuruspresse.com

Distribution : MLP

Publicité : 01 87 15 42 39
Marion Stastny (Directrice marketing, partenariats et business development), Patricia Danan (Directrice de publicité), Barbara Valdès (Directrice de clientèle), Yann Grolleau (Directeur opérations spéciales), prenom.nom@uniqueheritage.fr

Fabrication :

Créatoprint, tél : 06 71 72 43 16

Impression :

Artigrafiche Boccia
84 131 Salerno (Italie)
Origine du papier : Italie
Taux de fibres recyclées : 0 %
Certification : PEFC 100 %
Eutrophisation : Ptot 0,018 kg / t

Commission paritaire :

0925 K 90540
Loi du 16 juillet 1949 sur les publications destinées à la jeunesse.

ISSN : 2739-3755

Dépôt légal à parution.
Tous droits de reproduction réservés sauf autorisation écrite préalable © Comment ça marche.

Les coordonnées de nos abonnés sont communiquées à nos services et aux organismes liés contractuellement à Comment ça marche sauf opposition écrite. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès et de rectification dans le cadre légal. Ce magazine est édité sous licence de la société anglaise Future Publishing Limited. Tous les droits d'utilisation liés

à la licence, incluant le nom How It Works appartient à Future Publishing Limited et ne peuvent être reproduits, en partie ou dans leur intégralité, sans consentement préalable écrit et délivré par Future Publishing Limited. © Future Publishing Limited. www.futureplc.com

FUTURE

Comment ça marche est une marque déposée de Unique Heritage Media.





EXTINCTIONS DE MASSE

Comment ralentir la sixième
qui se profile ?



■ DÉCRYPTER : LA CHIMIE
DU MAQUILLAGE

■ EXPLORER : AU CŒUR
DE LA MATIÈRE NOIRE

■ INNOVER : LES NOUVEAUX
LABORATOIRES FLOTTANTS

■ OBSERVER : LES INSECTES,
CES PRÉCIEUX AUXILIAIRES

■ RACONTER : LES VILLES
FANTÔMES

■ AGENDA : CINÉ, JEUX VIDÉO,
BD, LIVRES, EXPOS...

NOUVEAU

Publicité



epsilon

LE NOUVEAU MAGAZINE
D'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE

Tous les mois chez votre marchand de journaux