

CHASSE AUX EXOPLANÈTES
LES DÉBUTS DE LA QUÊTE

INSECTES
POURQUOI DISPARAISSENT-ILS?

QUÉBEC SCIENCE

JUILLET-AOÛT 2019

LE PASSÉ REVISITÉ

Génomique, imagerie, molécules anciennes :
en archéologie, ces techniques bouleversent
nos connaissances sur les peuples mythiques



JUILLET-AOÛT 2019 0 7

7 PP 40065387



7 8313 04797 4

MESSAGERIES DYNAMIQUES 10682

6.95\$

Prochaine sortie : l'espace

NOUVEAUTÉS 2019 L'ASTROLab offre un décollage vers l'infini
avec une expérience renouvelée

NOUVEAU FILM | RÉALITÉ VIRTUELLE | OBSERVATOIRE | EXPOSITIONS

Photo: Guillaume Poulin

astrolab.qc.ca

Québec 

 Sépaq

ASTROLab du parc national
du Mont-Mégantic

SOMMAIRE

17

Seuls trois navires vikings bien préservés ont été mis au jour. Les chercheurs espèrent en découvrir d'autres pour mieux comprendre ce peuple.

COUVERTURE : ILLUSTRATION QS; IMAGE : SHUTTERSTOCK

EN COUVERTURE

17 Le passé revisité

Grâce aux techniques de pointe, les archéologues lèvent le voile sur des pans d'histoire autrefois inaccessibles. Ce qu'ils découvrent les oblige à récrire le passé de peuples mythiques comme les Vikings, les Néandertaliens, les Dorsétiens et les habitants de la cité d'Angkor. À lire dans notre grand dossier estival!

REPORTAGES

17 Pour que le rouge passe au vert

Est-il possible de reverdir une ancienne mine de fer isolée de tout et condamnée par un climat nordique difficile?

32 La genèse de la chasse aux exoplanètes

Il y a à peine 25 ans, les astronomes ne cherchaient pas à traquer les mondes lointains. Un désintéret qui paraît surprenant, avec le recul.

36 Brancher son cerveau, une bonne idée?

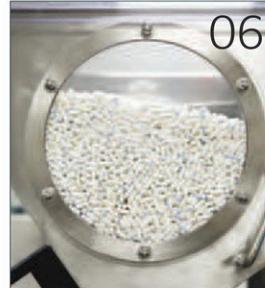
Un faible courant électrique appliqué sur la tête permettrait de régler une panoplie de problèmes de santé.

44 La déchéance des insectes

Dans plusieurs écosystèmes, papillons, abeilles, termites et autres petites bêtes disparaissent à un rythme effarant.

49 L'écran solaire, nouvel ennemi des coraux?

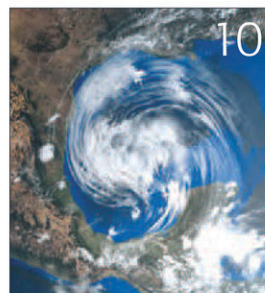
Des États interdisent l'utilisation de certaines crèmes solaires, qui nuiraient à la santé des coraux. Une intention qui repose sur des preuves ténues.



06



32



10



44

SUR LE VIF

6 LE CABINET DES CURIOSITÉS

On suit le parcours des médicaments, de la poudre au comprimé

8 CONNAISSEZ-VOUS LE JAMESTOWN CANYON?

Les maladies transmises par des moustiques gagnent du terrain. À quoi doit-on s'attendre?

10 UN OURAGAN DE STATISTIQUES

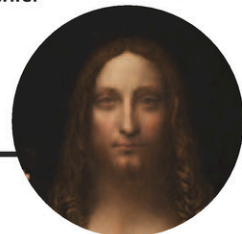
Pour mieux comprendre les pluies extrêmes, les chercheurs se tournent vers l'ouragan *Harvey*.

11 LE PIANO POUR SE REMETTRE D'UN AVC

Il suffirait de s'entraîner à jouer une séquence de notes pour retrouver l'usage des mains.

14 L'INSATIABLE CURIOSITÉ DE LÉONARD DE VINCI

Entrevue avec l'historien Walter Isaacson, auteur d'une imposante biographie de ce grand génie.



4 **Éditorial** Par Marie Lambert-Chan | 5 **Mots croisés** | 9 **Carnet de santé** Par Alexandra S. Arbour

11 **Technopop** Par Chloé Freslon | 13 **Polémique** Par Jean-François Cliche | 54 **Culture** Par Émilie Folie-Boivin

57 **Anthropocène** Par Jean-Patrick Toussaint | 58 **Rétroviseur** Par Saturnome



MARIE LAMBERT-CHAN [@MLambertChan](#)

Éditorial

Inconfort au musée

En Occident, des collections muséales n'auraient pu voir le jour sans l'esclavage et le colonialisme. Doit-on corriger le passé en restituant ces artefacts ?

J'adore visiter les musées d'histoire naturelle. Devant un fossile de tricératops, des minéraux rares ou un vieil herbier, je suis en contemplation. Mon émerveillement s'évaporerait-il si l'on m'indiquait que ces objets ont été acquis par des marchands d'esclaves, puis entreposés dans la cale de leurs navires aux côtés d'hommes et de femmes enchaînés ? Ou encore si l'on m'expliquait qu'ils ont été arrachés à des peuples indigènes par une puissance coloniale ? C'est pourtant ainsi que plusieurs grands musées ont constitué leurs collections qui font aujourd'hui courir les touristes et vibrer les scientifiques.

Longtemps passée sous silence, cette vérité dérangeante rattrape actuellement le milieu muséal, bombardé par les demandes de nations exigeant qu'on leur restitue des objets pillés ou extorqués. Au Musée d'histoire naturelle de Londres, le territoire de Gibraltar réclame deux crânes de Néandertaliens ; le Chili demande la dépouille bien préservée d'un paresseux géant ayant vécu il y a 12 000 ans ; et la Zambie aimerait ravoir le fameux crâne de Broken Hill. La Tanzanie souhaiterait rapatrier l'immense squelette d'un sauropode exposé depuis 1937 dans le hall du Musée d'histoire naturelle de Berlin. En novembre 2018, la gouverneure provinciale de l'île de Pâques livrait un vibrant plaidoyer afin que le British Museum rende à son peuple un géant de pierre dérobé par les Anglais. « Vous avez notre âme », a-t-elle déclaré. Ces demandes s'inscrivent dans un bras de fer qui oppose depuis des décennies les musées européens aux anciennes colonies. Les musées nord-américains ne sont pas en reste, puisque les peuples autochtones, tant au Canada qu'aux États-Unis, réclament également leurs biens culturels.

Fin 2018, le président français Emmanuel Macron a donné du grain à moudre aux partisans du rapatriement : il a accepté de rendre au Bénin 26 objets en bronze exposés au Musée du quai Branly – Jacques Chirac à Paris, dans la foulée d'un rapport signé par deux chercheurs qui recommandent le retour du patrimoine culturel africain spolié pendant la période coloniale. Il s'en est suivi moult débats de part et d'autre de l'Atlantique

sur le bien-fondé du document, qualifié par certains de jusqu'au-boutiste. Le camp « antirapatriement » a ressorti des arguments usés à la corde : les musées se videront ; les nations africaines ne possèdent pas d'installations appropriées pour accueillir et protéger les œuvres ; les visiteurs n'auront plus un accès aussi aisé à ces objets ; l'idée qu'il y ait eu pillage reste incertaine, puisque des colonisés auraient pu marchander des artefacts ; ce patrimoine appartient à l'humanité, et pas à un pays en particulier, et doit donc demeurer dans un musée dit « universel »...

À l'heure des réparations et des réconciliations, ce discours paternaliste ne tient plus la route. Ces artefacts représentent un lien avec le passé essentiel à la consolidation de l'identité de ces peuples dépossédés. C'est aussi vrai d'une statue reconnue pour son importance spirituelle que d'un fossile de dinosaure déterré par un villageois à qui l'on n'a jamais accordé le moindre crédit. Et que dire des restes humains pillés par des explorateurs ? De nombreuses nations autochtones se sont battues pour ravoir les dépouilles de leurs ancêtres.

Favoriser la restitution ne veut pas dire qu'il faille emballer illico tous les artefacts pour les renvoyer d'où ils viennent. Le retour d'objets culturels dans leurs lieux d'origine exige du temps et de l'espace pour le dialogue entre les nations revendicatrices et les musées. C'est ce que prône Chip Colwell, anthropologue américain et conservateur au Musée de la nature et des sciences de Denver, qui a lui-même remis des artefacts à des communautés autochtones. Dans son livre *Plundered Skulls and Stolen Spirits*, il raconte les tensions et les négociations qui font inmanquablement partie de la restitution. Mais au final, il observe qu'aucun musée qui a tenté l'aventure n'a fermé ses portes. Mieux, les conservateurs et les scientifiques en ressortent avec une connaissance plus fine des peuples autochtones. Parmi ces derniers, plusieurs ont même ouvert leur propre musée. Ils peuvent enfin y raconter leur histoire et, ce faisant, s'approprier leur passé...

Rédactrice en chef

Marie Lambert-Chan

Journalistes

Marine Corniou, Mélissa Guillemette

Journaliste Web et médias sociaux

Annie Labrecque

Collaborateurs

Maxime Bilodeau, Jean-François Cliche, Émilie Folie-Boivin, Chloé Freslon, Gabriel Laurin, Sylvain Lumbroso, Alexis Riopel, Alexandra S. Arbour, Saturnome, Jean-Patrick Toussaint

Correctrice-révisure Sophie Cazanave

Directrice artistique Natacha Vincent

Photographes/illustrateurs

Louise Bilodeau, Marianne Chevalier, Jean-François Hamelin, Nicole Aline Legault, Valérien Mazataud, Dushan Milic, Vigg

Éditrice Suzanne Lareau

Coordonnatrice des opérations

Michèle Daoust

Comptabilité Mimi Bensaïd

Chargée de projets, communications marketing

Lynda Moras

Attachée de presse

Stéphanie Couillard

Vice-présidente marketing et service à la clientèle

Josée Monette

Publicité

Claudine Mailloux 450 929-1921

514 909-4601 cmailloux@velo.qc.ca

Impression Transcontinental Interweb

Distribution Messageries Dynamiques

Parution: 27 juin 2019 (555^e numéro)

Abonnement Canada, 1 an : 36 \$ + taxes

États-Unis, 1 an : 72 \$

Outre-mer, 1 an : 112 \$

514 521-8356, poste 504 ou

1 800 567-8356, poste 504

Québec Science est publié par

Vélo Québec Éditions

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Québec, Bibliothèque nationale du Canada: ISSN-0021-6127

Envoi Poste-Publications Convention no 40065387.

© Copyright 2019 - Québec Science.

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés.

Indexé dans **repère**

Québec Science reçoit l'aide financière du ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec. Nous reconnaissons l'appui financier du gouvernement du Canada.



Le magazine Québec Science est imprimé sur du papier certifié FSC® (Forest Stewardship Council®), donc issu de forêts bien gérées et d'autres sources responsables.



Mots croisés



CANCER : IL Y A DE L'ESPOIR

J'ai adoré lire votre dossier sur le cancer. Ayant moi-même été atteinte d'un cancer l'an dernier et ayant reçu un traitement expérimental avec de l'immunothérapie, votre article sur ce sujet m'a fascinée. Surtout, j'ai retenu qu'il y a beaucoup d'espoir sur le plan des découvertes médicales dans l'avenir des traitements du cancer.

Merci pour ce numéro!

— Roxane Larivière

LES TROUS NOIRS EN RAPPEL

Au mois d'avril, quand la photo du trou noir de la galaxie M87 a été publiée, j'étais prêt. J'avais relu votre article publié le mois précédent. C'est tellement rare de pouvoir lire un article qui explique un événement à venir. Maintenant, j'espère que nous aurons l'occasion d'en apprendre plus sur ce trou noir. Merci!

— François Boulay

« Que la lumière soit ! » Voilà comment on pourrait qualifier le texte de Marine Corniou qui, en quelques pages, rend enfin intelligible le phénomène des trous noirs. D'abord, ce ne sont pas des trous, mais de simples corps dont la masse attire d'autres corps moins massifs. Ils se forment lorsque des étoiles s'effondrent sur elles-mêmes, en fin de vie. Et ainsi de suite. Explications simples, concrètes, lumineuses. Merci, madame!

— Pierre Frigon

DES MÉGOTS DANS L'OcéAN

Sur notre page Facebook, nous vous informions récemment que les mégots de cigarette sont

la première source de déchets océaniques, une nouvelle qui a suscité de nombreuses réactions. En voici quelques-unes.

En plus d'être néfaste pour la santé, de coûter cher aux utilisateurs et au système de santé, le tabagisme nuit maintenant à nos océans... Il n'y a que les compagnies de tabac qui profitent de ce cancer. Je sais que c'est difficile de cesser de fumer. Pour libérer la planète et les fumeurs de ce boulet, il est impératif de mieux soutenir la cessation tabagique.

— Fannie Lépine

Avec les profits que font les compagnies de tabac, elles devraient investir dans la recherche pour créer des mégots biodégradables, non?

— Véronique Millette



QUÉBEC SCIENCE RÉCOMPENSÉ

Au 42^e gala annuel des Prix du magazine canadien, notre journaliste Mélissa Guillemette a remporté une médaille d'or dans la catégorie Journalisme de service pour son reportage « Où vont les déchets électroniques? » (octobre-novembre 2018). Fruit d'une longue enquête, cet article décortiquait le système complexe de la récupération et du recyclage des objets électroniques. Le magazine était également en lice dans la catégorie Meilleur dossier thématique pour le dossier spécial « L'or brun : tout sur le caca » (mars 2018), auquel avaient collaboré Marine Corniou, Marianne Desautels-Marissal, François Émond et Annie Labrecque. Bravo à tous!

Abonnez-vous

www.quebecscience.qc.ca/abonnez-vous

514 521-8356, poste 504
1 800 567-8356, poste 504

Un changement d'adresse :
changementqs@velo.qc.ca

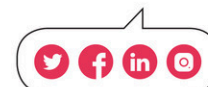
Écrivez-nous

courrier@quebecscience.qc.ca

Magazine Québec Science
1251, rue Rachel Est
Montréal (QC) H2J 2J9

Suivez-nous

www.quebecscience.qc.ca



MÉDICAMENT : de la poudre au comprimé



Dans un décor dominé par le blanc des murs et le métal des appareils, nous avons suivi le parcours des médicaments génériques en comprimés.

Par Annie Labrecque

Vêtus d'un sarrau, de lunettes de protection et d'un filet pour les cheveux, les employés s'affairent autour des machines pour fabriquer et emballer l'un des 300 médicaments commercialisés par la compagnie Pharmascience. **1** L'usine de Montréal a la capacité de produire pas moins de 2,5 milliards de comprimés chaque année, selon Jean-Guy Goulet, chef d'exploitation chez Pharmascience. Outre les pilules, les médicaments qui sortent de l'entreprise prennent la forme de crèmes, d'onguents, de suspensions liquides ou de capsules. Leur particularité? Tous sont des produits génériques, c'est-à-dire des « copies » de médicaments de marque vendus à moindre coût.

En 2017, les médicaments génériques représentaient 70,6 % des ordonnances au Canada, selon l'Association canadienne du médicament générique. Au pays, un médicament est en effet protégé par un brevet pour une durée de 20 ans. Passé cette échéance, d'autres compagnies pharmaceutiques peuvent reproduire la molécule et la commercialiser sous un nom différent. Les génériques contiennent les mêmes ingrédients actifs que les médicaments d'origine.

Chez Pharmascience, l'équipe de recherche et développement s'emploie en premier lieu à obtenir la meilleure formulation du médicament générique. Elle s'assure que celui-ci agit et est libéré dans le corps de façon semblable au médicament original, ce qu'on appelle « bioéquivalence ». « Pendant cette phase, on établit aussi la durée de vie du médicament avec des études de stabilité. Notre

objectif est qu'il se conserve au moins de 18 à 24 mois, un temps suffisant pour la mise en marché », indique Mustapha Kandil, directeur principal de la recherche et du développement.

Si cette phase prend de deux à trois ans, il en va autrement de l'étape de la fabrication : l'usine peut produire de sept à huit millions de comprimés sur une période de trois jours pour certains médicaments. **2**

DE LA POUDRE...

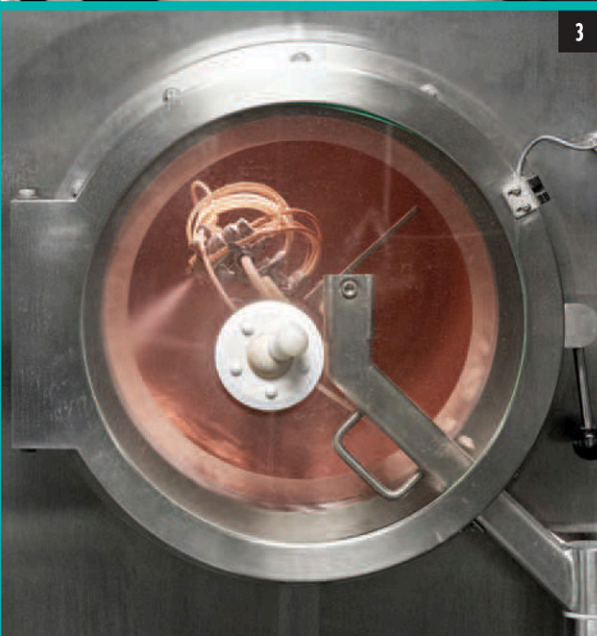
Les matières premières, à l'état de poudre, proviennent en grande partie de l'Inde et de la Chine. Elles sont pesées précautionneusement et mixées dans de grandes cuves. Les ingrédients actifs sont combinés avec différents excipients (substances qui facilitent la déglutition, donnent une saveur, stabilisent le produit, etc.) pour for-



2



5



3



4



6

mer le comprimé. Dans certains cas, lorsque les éléments se mélangent difficilement, on force cette liaison en ajoutant de l'eau et en introduisant le tout dans un mélangeur à haut cisaillement. On obtient de petits granules, qui ont l'apparence du couscous, dont la composition et la concentration sont uniformes sur le plan des ingrédients actifs. Il faut ensuite passer au séchage pour retirer toute humidité dans une autre machine à lit fluidisé qui les met en suspension dans l'air chaud.

À l'étape suivante, le mélange sec est compressé entre deux poinçons, d'où le terme *comprimé*. Puis, une machine projette un liquide coloré qui sèche au contact des comprimés. **3** En effet, si la plupart des comprimés sont de couleur blanche, on peut leur ajouter un enrobage coloré, d'une part pour les différencier, mais aussi

pour les protéger contre l'humidité, masquer leur goût ou aider à la libération du médicament à l'intérieur de l'intestin. « Les médicaments génériques reproduisent la couleur du médicament d'origine. Si celui-ci est de couleur bleue, on emploiera la même, précise Jean-Guy Goulet. C'est important des points de vue de l'efficacité et du respect du traitement, surtout chez les personnes qui se font prescrire plusieurs comprimés. Si elles sont habituées à prendre une pilule bleue le matin et qu'on utilise une autre couleur, cela peut porter à confusion. » **4**

Pour éviter la contamination, la pression de l'air dans les salles où sont fabriqués les comprimés est plus basse que dans le reste du bâtiment, ce qui permet que la poudre reste à l'intérieur de la pièce. À certaines étapes critiques, les employés doivent enfiler un habit protecteur. **6** C'était le cas au moment de notre passage :

on produisait alors de l'oxycodone, un puissant opioïde qui peut s'avérer dangereux pour la santé.

... À LA BOUTEILLE

Les précieux comprimés sont ensuite mis dans une bouteille ou dans un emballage thermoformé. **5** Ce dernier est composé de plastique et d'aluminium qui protège chaque comprimé contre l'humidité et la luminosité. Sur la chaîne de montage, les machines comptent exactement la quantité de comprimés requise, scellent le produit, ajoutent un absorbeur d'humidité si nécessaire, appliquent l'étiquette, etc. Le médicament est enfin prêt à prendre sa place sur les tablettes de la pharmacie. **6**

Connaissez-vous le Jamestown Canyon ?

Les maladies transmises par des moustiques gagnent du terrain partout dans le monde, à mesure que ces insectes piqueurs étendent leur aire de répartition. À quoi doit-on s'attendre? Par Marine Corniou



Lis s'appellent Snowshoe hare, Jamestown Canyon ou Trivittatus. Ce ne sont ni des rappers ni des marques d'équipement sportif, mais plutôt des virus transmis par des moustiques. Retenez ces noms, car ils pourraient bien faire parler d'eux dans les années qui viennent.

Déjà présents au Canada, ils infectent certains animaux et humains qui se font piquer par un moustique porteur. Bénins dans 80 à 90 % des cas, ils peuvent parfois causer de la fièvre et des symptômes grippeux, et même des encéphalites, soit des inflammations potentiellement fatales du cerveau. Et les infections qu'ils provoquent pourraient bien être sous-diagnostiquées.

C'est ce qu'affirme Michael Debrot, virologue au Laboratoire national de microbiologie de Winnipeg, qui suit leurs traces de près. « Il semble que, dans plu-

sieurs provinces canadiennes, plus de 20 % des gens ont des anticorps contre les virus Jamestown Canyon et Snowshoe hare, ce qui signifie qu'ils y ont été exposés par le passé ou récemment », explique l'expert, qui a publié ces données en 2017 et 2018.

Les cas humains problématiques restent assez rares, mais les virologistes s'attendent à ce qu'ils augmentent, à l'instar de ce qui se passe avec le virus du Nil occidental (VNO), un autre virus transmis par les moustiques. Bien établi au Québec depuis 2002, le VNO a été à la source de plus de 200 cas à l'été 2018, principalement en Montérégie, et il a tué 15 personnes.

Ce bilan, le pire en 15 ans de surveillance, pourrait s'alourdir à moyen terme avec l'arrivée imminente d'un vecteur redoutable : le moustique tigre ou *Aedes albopictus*. Avec son comparse *Aedes aegypti*, il est un champion de la transmission virale. Les moustiques du genre *Aedes* sont les

principaux vecteurs de la dengue, des virus Chikungunya et Zika et de la fièvre jaune, et ils gagnent du terrain partout dans le monde, profitant des mouvements de population et du réchauffement climatique.

« Avec des températures estivales plus favorables, *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus* pourraient s'établir au Canada, comme ils se sont installés au cours des dernières décennies sur une grande partie de la côte Est américaine. Tous les agents pathogènes qu'ils transmettent pourraient donc être introduits », mentionne Erin Mordecai, spécialiste des effets des changements climatiques sur les maladies infectieuses à l'Université Stanford, aux États-Unis.

En plus du VNO, les moustiques *Aedes* peuvent en effet trimbaler toutes sortes d'« arbovirus », un terme qui désigne les centaines, voire les milliers de virus transmis par les moustiques et les tiques. Ces souches, pour la plupart non identifiées, constituent un vivier inépuisable de pathogènes potentiels. Cela n'augure rien de bon, d'autant que, « d'ici 2080, jusqu'à un milliard de personnes supplémentaires pourraient être exposées aux maladies transmises par les moustiques, surtout en Europe ». C'est ce que concluent des travaux d'Erin Mordecai, parus au printemps dernier dans *PLOS Neglected Tropical Diseases*. Une autre étude, publiée au même moment par une équipe internationale dans *Nature Microbiology*, révélait que la moitié de la population mondiale pourrait vivre dans des zones propices au pullulement d'*Aedes aegypti* d'ici 2050.


Dans ce contexte, certains arbovirus pourraient se répandre telles des traînées de poudre, comme l'a fait le virus Zika entre 2014 et 2017, dans 70 pays et territoires. Mais lesquels? Le Jamestown Canyon pourrait-il sortir de l'ombre? « Tout le monde aimerait prédire quel sera le prochain virus émergent.



Mais chaque fois qu'on s'y est risqué, on s'est trompé», indique Rémi Charrel, virologue à Marseille et spécialiste des arboviroses.

Dans un article publié en 2017, il souligne que les épidémies de virus Chikungunya ou Zika ont été présentées à tort comme des phénomènes nouveaux. «Des émergences de virus, il y en a partout tout le temps, mais, dans la plupart des cas, elles tournent court. Et parfois, le nombre de cas grossit de façon exponentielle», précise-t-il. De nombreux facteurs peuvent expliquer une soudaine épidémie : adaptation de certaines espèces de moustiques au contexte urbain, mutations génétiques qui permettent à une souche de virus d'infecter plus efficacement son hôte, saison exceptionnellement chaude, etc. «Souvent, on ne sait pas ce qui se passe. Par exemple, dans le cas du virus Zika, qui était considéré comme "gentil", aucune mutation flagrante ne permet d'expliquer le revirement de situation.»

Que ce soit à cause d'*Aedes* ou des quelque 80 espèces locales de moustiques, le Québec n'est pas à l'abri d'une épidémie. Pour garder un œil sur les virus en circulation, l'Institut national de santé publique du Québec exerce une triple surveillance chez les animaux, les humains et les moustiques (à l'aide de pièges), signale Julie Ducrocq, conseillère scientifique.

Le Plan national de surveillance des arboviroses va d'ailleurs être renouvelé et renforcé pour 2020-2025. «On surveille les moutons et les chevaux, qui sont des sentinelles pour le virus de l'encéphalite équine de l'Est et pour celui de la Cash Valley. Il y a eu des cas humains aux États-Unis, mais pas encore au Québec», dit-elle, spécifiant que, quelle que soit l'arbovirose, la meilleure façon d'y échapper reste d'éviter les piqures. À vos chasse-moustiques! 

Nous sommes cuits

Juillet 2018. La canicule bat son plein. Mes patients arrivent au service des urgences ratatinés, la peau rougie, moribonds. L'un d'entre eux a failli mourir. Les ambulanciers ont sué en allant le chercher dans sa chambre de résidence non climatisée. Il avait chuté au pied de son lit et avait été incapable de se relever. Il a passé plusieurs heures au sol, à plus de 40 °C.

En cas de chaleur accablante, les messages des autorités de santé publique fusent de partout. On encourage les gens à être solidaires de leurs proches, on ouvre des haltes climatisées, on prolonge les heures d'ouverture des piscines. On recommande de boire de l'eau sans attendre la soif, de réduire les efforts physiques et de passer au moins deux heures par jour dans un environnement frais.


N'empêche que l'an dernier, pendant les six jours qu'a duré la canicule, il y a eu 66 décès à Montréal pour lesquels la chaleur aurait été un facteur contributif. Surtout des hommes seuls, souffrant de troubles de santé mentale ou de dépendance aux drogues, ainsi que des aînés. Leur point commun : ne pas avoir eu accès à l'air climatisé et résider dans un îlot de chaleur.

Pourquoi eux? Parce que la chaleur brûle d'abord les plus vulnérables. Certains ont à peine de quoi se nourrir ou se loger, alors ne leur parlez pas d'installer un climatiseur. Pensons aussi aux toxicomanes ou aux itinérants : ils ne sont pas le genre de personnes qui sont les bienvenues dans les centres commerciaux ou à la piscine du coin. D'autres — comme les gens âgés — ressentent moins la soif et la chaleur pour des raisons physiologiques.

La littérature médicale nous apprend que les canicules provoquent bien plus que des coups de chaleur : infarctus du myocarde, insuffisance rénale aigüe, accident vasculaire cérébral et coma diabétique sont aussi du lot. Même les psychoses augmenteraient proportionnellement à la hausse du mercure...

Les médecins peuvent certainement soigner un patient à la fois, relayer les messages de la santé publique et se battre pour l'accès à l'air climatisé. Mais la climatisation n'est pas une panacée : elle rejette de l'air plus chaud dans l'atmosphère et finit par contribuer au problème, particulièrement la nuit.

Un groupe de professionnels de la santé, sous la conduite de l'Association canadienne des médecins pour l'environnement, a lancé un cri d'alarme en avril dernier. Ils demandent de soigner la planète au bénéfice des patients. Le diagnostic du groupe est sans appel et le remède qu'il propose est ambitieux : il faut verdifier les villes, diminuer notre dépendance au pétrole, favoriser le transport collectif et le transport actif. De plus, il est indispensable de bonifier les enveloppes budgétaires pour la santé publique afin d'accroître la prévention.

Les retombées de telles mesures environnementales sur la santé ne sont plus à prouver. Les épisodes de forte chaleur seront de plus en plus fréquents. Le système de santé au grand complet ne peut plus faire la sourde oreille. Car si l'on additionne réchauffement climatique et vieillissement de la population, vous aurez compris que nous sommes cuits. 

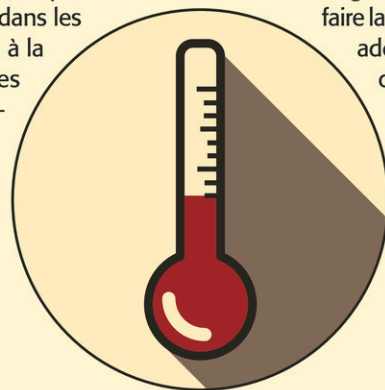
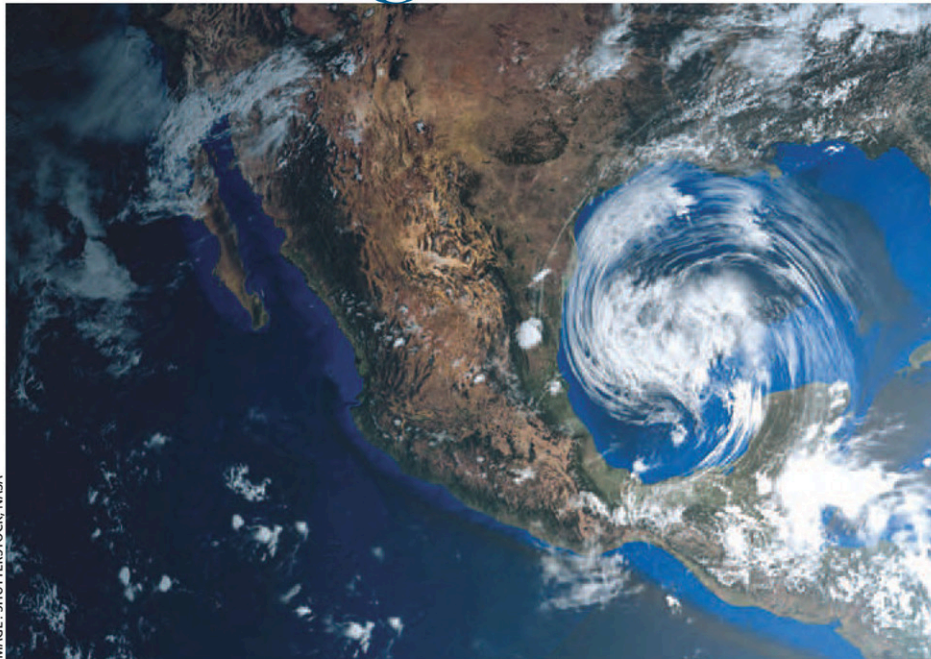


IMAGE: SHUTTERSTOCK

Un ouragan de statistiques



L'ouragan *Harvey* a ravagé le Texas en 2017. Depuis, il fait office de souris de laboratoire pour comprendre les pluies extrêmes et leur possible lien avec les changements climatiques.

Par Mélissa Guillemette

IMAGE : SHUTTERSTOCK, NASA

D

epuis près de deux ans, le statisticien Richard Smith travaille à prédire l'ampleur de l'ouragan *Harvey*... survenu en 2017.

Mais pourquoi donc s'attarder aux probabilités qu'un événement déjà passé survienne? Pour anticiper ce qui attend le sud-est des États-Unis relativement aux changements climatiques, a expliqué le professeur de l'Université de Caroline du Nord au congrès de l'Association américaine pour l'avancement des sciences, à Washington, en février dernier.

Le chercheur se penche plus précisément sur les pluies qui ont accompagné *Harvey*. Ce dernier a déversé son fiel sur le Texas pendant trois jours; certaines villes ont reçu plus de 1 000 mm de pluie, un record historique aux États-Unis. Au total, 90 personnes ont perdu la vie et les dommages sont chiffrés en dizaines de milliards de dollars.

Richard Smith et son collègue Ken Kurnel basent leurs travaux sur la température de l'eau de surface dans le golfe du Mexique et sur le taux de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. Le professeur a calculé

que le risque qu'un ouragan tel *Harvey* – défini comme un épisode de pluie de plus de 711 mm en cinq jours – se forme cette année-là était de moins de 1 sur 1 000. «C'est peu, mais selon nos calculs, c'est de deux à trois fois plus que s'il n'y avait pas eu de réchauffement climatique.»

Selon les différents modèles utilisés, par Richard Smith et par d'autres chercheurs, la probabilité que des ouragans aux pluies très fortes se produisent dans la région dans les années 2080 sera multipliée par 18, 30 ou même 60 si les niveaux de CO₂ suivent le scénario le plus pessimiste projeté par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. «Je n'avancerai pas de nombre exact, mais l'important est de constater que, peu importe la simulation, la probabilité augmente de façon spectaculaire», assure le professeur, qui détaillera ses calculs dans une publication scientifique en préparation.

Faut-il pour autant conclure que les ouragans et les épisodes de pluies diluviennes seront plus fréquents sur la planète en raison des changements climatiques? Ce n'est pas si simple. Dire que des événements météorologiques extrêmes sont une conséquence des activités humaines n'est pas aisé, puisqu'ils sont rares, complexes et qu'ils sont influencés par leur situation géographique.

On ne peut d'ailleurs généralement parler de «causalité» que pour un aspect très précis d'un événement météorologique, comme les précipitations pour l'ouragan *Harvey*, mentionne Alexis Hannart, chercheur en science du climat au consortium Ouranos. «Ces niveaux de pluie sont très difficiles à expliquer sans faire intervenir les changements climatiques. Mais si l'on considère *Harvey* comme un tout, avec l'ensemble de ses caractéristiques, on ne peut pas tirer de conclusions sur le fait que les ouragans sont plus ou moins probables dans le contexte du réchauffement climatique. Il faut demeurer prudent», dit celui qui prenait part au même congrès que Richard Smith à Washington.

Par ailleurs, de plus en plus de chercheurs s'intéressent aux répercussions économiques et humaines des changements climatiques plutôt qu'uniquement aux phénomènes physiques. «Cela ancre le lien de cause à effet dans des choses bien concrètes, comme la mortalité ou les dommages matériels, indique M. Hannart. On vit dans un monde centré sur la performance économique; c'est une voie peut-être plus efficace pour convaincre les décideurs qu'il faut adapter les villes.»

Le piano pour se remettre d'un AVC

Par Gabriel Laurin

Do, ré, mi, fa, mi. Jouer cette séquence au piano paraît élémentaire, mais pour les personnes qui ont perdu en partie l'usage d'une main à la suite d'un accident vasculaire cérébral (AVC), ce simple exercice demande beaucoup d'efforts. Il pourrait cependant se révéler salvateur, comme en témoigne la vidéo que nous présente Anouk Lamontagne, professeure associée à l'École de physiothérapie et d'ergothérapie de l'Université McGill. On y voit les doigts d'un patient qui enfoncent avec assurance les touches du clavier.

«Au départ, il avait de la difficulté à prendre une clé, à ouvrir un pot. C'est quelqu'un qui a travaillé très fort», affirme-t-elle.

Même si ce type de séquelle est fréquent chez ses patients, les traitements actuels, comme le renforcement musculaire, ne réussissent «pas vraiment à favoriser un retour optimal» des fonctions motrices de la main, mentionne Anouk Lamontagne.


C'est pourquoi, avec son équipe, elle étudie le potentiel de la thérapie musicale. Dans son projet de recherche, elle observe le cerveau de participants qui, pendant trois semaines, reproduisent sur un clavier électronique des notes de musique dictées par un écran d'ordinateur. Des travaux précédents publiés dans le journal *Frontiers in Human Neuroscience* en 2014 avaient montré un

gain de dextérité pour les patients – qui n'était pas constant toutefois.

Pour comprendre le phénomène, les chercheurs se concentrent sur les processus neuronaux entre les aires motrices et les aires auditives du cerveau, souvent touchées par les AVC. «Avec un magnétoencéphalographe, on peut mesurer l'activité cérébrale au fil du traitement, ce qui nous indique quels ont été les changements qui sont attribuables à l'entraînement», explique Marie-Hélène Boudrias, une autre professeure engagée dans ce projet.

Analyser les résultats de plusieurs patients permettra de faire des comparaisons et d'établir quels éléments présents au premier jour du traitement en prédisent le succès. «On pense que, si la connexion entre les zones audiomotrices est assez bonne, alors l'entraînement sera efficace.»

Les résultats devraient fournir, à terme, la possibilité d'entreprendre une plus vaste étude qui comparerait l'efficacité du traitement musical avec celle de thérapies traditionnelles.

Chose certaine, il est beaucoup plus plaisant de jouer de la musique que de répéter le même mouvement à plusieurs reprises. D'autant plus que les patients peuvent s'exercer à la maison, ce qui n'est pas possible dans le cas d'autres thérapies, et s'améliorer par eux-mêmes. «La musique, quand on se trompe, ça sonne faux. On le sait tout de suite», illustre Anouk Lamontagne. 

CHLOÉ FRESLON  @f_chloe

Technopop



Les accumulateurs du Web

J'ai une confession à vous faire : je suis une personne de contradictions. Alors que j'adore effacer des courriels de ma boîte de réception, je ne supprime aucune photo de mon cellulaire, pas même celles qui sont ratées. Pour qualifier les gens qui, comme moi, n'arrivent pas à se séparer de leurs photos, mais aussi de tout type de fichiers numériques, il existe un terme : accumulateur compulsif numérique (ou *digital hoarder*).

Cette expression aurait été utilisée pour la première fois en 2015 à propos d'un Néerlandais qui prenait plusieurs milliers de photos par jour sans jamais les utiliser ni les regarder.

Sur Internet, et particulièrement sur Reddit, il existe des communautés d'accumulateurs compulsifs numériques. Ils échangent des conseils sur la création de serveurs de données à la maison ou tentent de trouver des sites d'hébergement performants meilleur marché. Ils publient même des photos de leurs disques durs ! Cela peut sembler étrange, mais ne les jugeons pas trop vite. Il ne s'agit pas d'amasser pour amasser. La fierté de ces communautés réside dans leur capacité à traquer des fichiers rares, comme des manuels de jeux vidéo disparus.

Pourquoi s'accrocher à des fichiers numériques ? Les raisons varient de la pure paresse à l'anxiété de se débarrasser de quoi que ce soit, explique Nick Neave, directeur d'un groupe de recherche sur l'accumulation numérique à l'Université Northumbria, au Royaume-Uni. Mais le motif le plus souvent évoqué est la possibilité que ces fichiers se révèlent un jour utiles. Vérité ou fantasme, on ne le saura jamais ! Dans tous les cas, bien des accumulateurs finissent par souffrir de leur encombrement : il leur cause du stress, sans parler de potentiels problèmes de cybersécurité.

À qui la faute ? Aux plateformes comme Google Drive qui nous incitent à y stocker nos fichiers à un prix dérisoire. Et quand ça déborde, au lieu d'effectuer un grand ménage, on préfère payer davantage d'espace. C'est d'ailleurs ce que j'ai dû faire récemment.


En raison de leur immatérialité, il est facile d'oublier toutes ses données... et les centres qui les abritent. Ceux-ci consomment plus de deux pour cent de l'électricité mondiale et émettent à peu près autant de CO₂ que l'industrie aérienne. Peut-être qu'un petit nettoyage s'impose ? 

IMAGE : SHUTTERSTOCK





Reprogrammez l'histoire

Chaque jour, les traitements par
cellules souches changent des vies.

Soutenir la Fondation HMR, c'est favoriser la guérison
de patients atteints de cancer en accélérant le
développement de traitements par thérapie cellulaire,
et surtout, c'est permettre de reprogrammer des
cellules souches pour sauver des vies, maintenant.

Donnez à fondationhmr.ca





Ces morses qui tombent du ciel...

Réglons tout de suite quelques petits points élémentaires. Les morses n'ont pas d'ailes. Ils ont de jolies palmes, oui, mais rien qui permette de voler. Ce n'est pas non plus une espèce arboricole. Et ils ne se promènent jamais en montagne. Bref,

ces gros pinnipèdes passent à peu près toute la partie émergée de leur vie à moins d'un mètre d'altitude. Alors, pour que l'un d'entre eux tombe d'assez haut pour se tuer, il faut... Mais que faut-il au juste ?

Le réchauffement planétaire peut faire l'affaire, si l'on en croit la télésérie de Netflix *Our Planet*. Dans son épisode « Frozen Worlds », on voit des morses qui ont escaladé une falaise de 80 m en Russie en 2017. Ils auraient grimpé là pour s'éloigner de la plage plus basse, surpeuplée par des dizaines de milliers de congénères à cause de l'absence de glaces marines cet été-là. Or, quand est venu le temps de regagner la mer, compte tenu du peu d'agilité de l'espèce, disons pudiquement que les « randonneurs » ont surtout procédé par gravité : 250 d'entre eux se sont écrasés au bas de la falaise.

Cela donne une scène émotionnellement très chargée, voire difficile à supporter pour certains. Mais c'est aussi une scène qui a semé son lot de controverses. Plusieurs médias et blogueurs (dont quelques climatosceptiques notoires) l'ont dénoncée comme étant la « récupération quasi pornographique d'une tragédie ». Le *Financial Post*, par exemple, y a vu une réédition du coup de pub viral que *National Geographic* avait fait en 2017 en présentant un ours polaire tout émahié comme une victime du réchauffement climatique – ce dont on n'avait en vérité pas la moindre idée, puisqu'il pouvait très bien être simplement malade ou blessé, comme cela arrive naturellement à bien des ours depuis des milliers d'années.

Qui croire ? Le fait est que les morses ne sont pas particulièrement agoraphobes : il est très facile de trouver des photos de centaines de morses sur une plage, qui se tiennent tous en groupe serré


même si l'espace abonde autour d'eux, et ce, indépendamment des changements climatiques. Mais il est assez bien établi en science que les plages sont un pis-aller pour ces animaux. L'absence de glace les pousse en plus grand nombre vers la terre ferme, ce qui fait craindre le pire pour l'espèce à long terme. Mais de là à dire que c'est le réchauffement planétaire qui a transformé 250 morses

en alpinistes du dimanche, il y a un (gros) pas supplémentaire. Des cas semblables ont été documentés, comme en 1996 en Alaska, où 60 spécimens sont morts après avoir chuté d'une falaise. La plupart des biologistes interviewés à ce sujet disent qu'on ne sait tout simplement pas pourquoi (hormis une piètre vue) des morses escaladent à l'occasion des parois, mais qu'on n'a pas de raison de penser que cela survient plus souvent qu'avant.

Alors pourquoi avoir fait ce lien spéculatif avec le climat ? Pourquoi, aussi, avoir présenté ces images comme une seule et même scène alors qu'il s'agissait en réalité de séquences tournées dans deux endroits différents, comme l'a admis la

réalisatrice Sophie Lanfear au magazine *The Atlantic* ? Bien que je ne lise pas dans les pensées de tout ce beau monde, je ne peux m'empêcher d'établir un lien avec le fait que Netflix a coproduit sa minisérie avec... le World Wildlife Fund, un organisme environnementaliste et militant qui, par définition, est toujours plus ou moins en campagne de financement. On touche ici au cœur du problème, je pense.

Que dirait-on si, par exemple, l'Association canadienne des producteurs pétroliers coproduisait un « documentaire » sur les sables bitumineux ? On soupçonnerait certainement, à tort ou à raison, que cela a teinté le propos.

Il se pourrait bien que ce soit le cas avec *Our Planet*. Mais quelles qu'aient été les intentions derrière la télésérie, le résultat est le même : les producteurs et les artisans ont donné des munitions aux climatosceptiques, ont terni leur propre crédibilité et celle d'une cause par ailleurs bonne. Pas joli... 



VICC

L'insatiable curiosité de LÉONARD DE VINCI

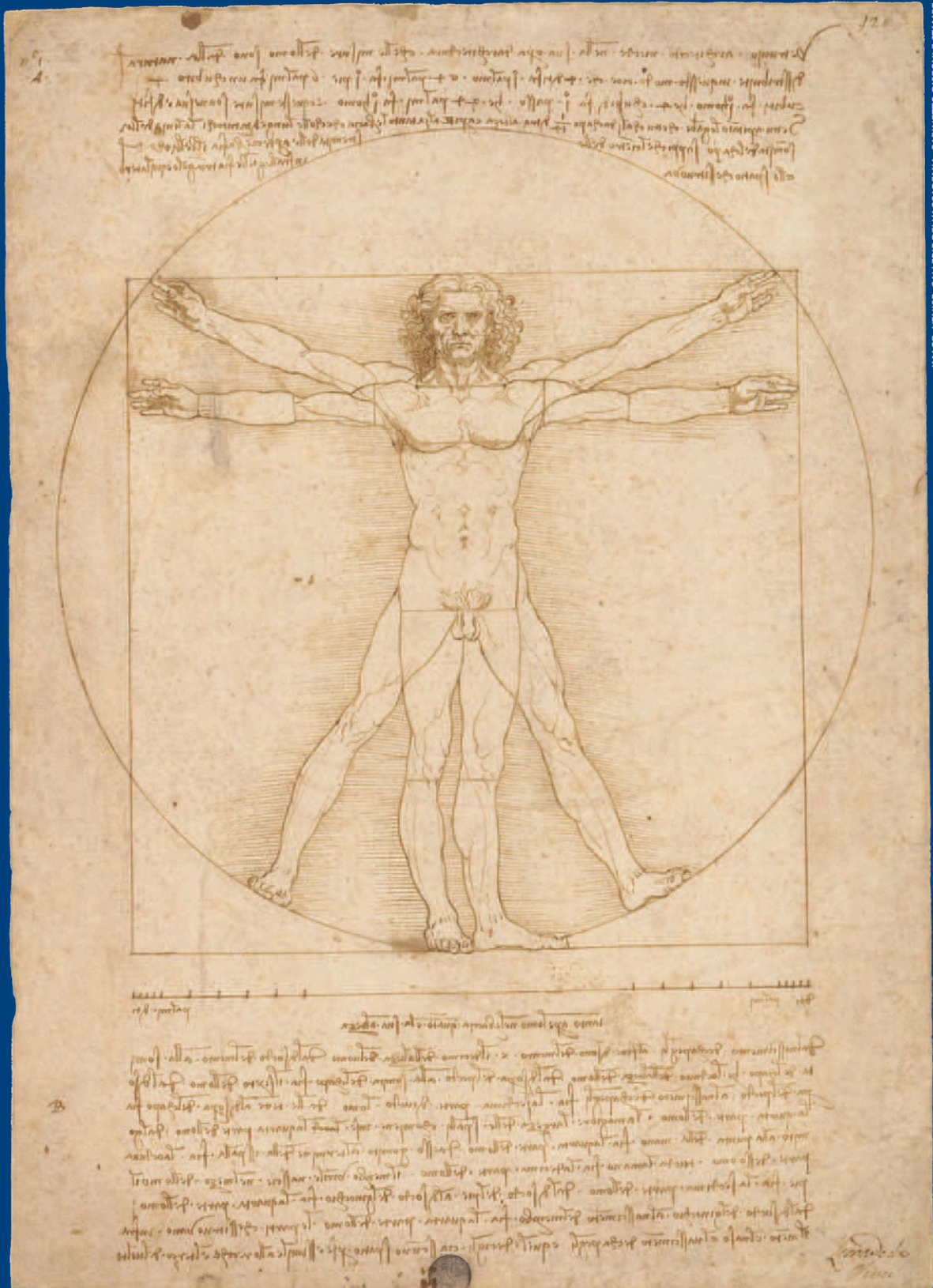


IMAGE: VENISE, GALLERIE DELL'ACCADEMIA, CABINETTO DISEGNI E STAMPE

*L'homme
de Vitruve,
réalisé par le
peintre vers 1490,
sur papier.*

Dans une volumineuse biographie de Léonard de Vinci, l'historien Walter Isaacson fait briller chacune des facettes du grand génie de la Renaissance.

Par Alexis Riopel



Quand Walter Isaacson a décidé de s'attaquer à la biographie de Léonard de Vinci (1452-1519), il a exigé de son éditeur américain que l'ouvrage soit imprimé sur du papier de qualité – une fantaisie destinée à rendre hommage à cette technologie qui résiste au temps et à laquelle l'historien se devait d'être reconnaissant.

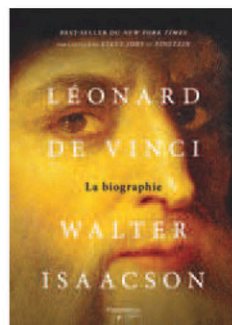
En effet, quelque 7 200 pages des carnets du maître sont toujours intactes, et Walter Isaacson y a eu accès afin de broser le portrait du plus savant des artistes de la Renaissance. En cette année du 500^e anniversaire de la mort du célèbre peintre italien, nous sommes entretenus avec l'auteur de *Léonard de Vinci : la biographie*, parue au printemps aux éditions Flammarion Québec. Au fil de ses recherches, l'infinie curiosité de Léonard de Vinci est apparue au biographe comme la source de ses prouesses. La bonne nouvelle, c'est que nous pouvons tous nous en inspirer, croit-il.

Québec Science : Vous comptez plusieurs biographies de «génies» à votre actif : Albert Einstein, Benjamin Franklin, Steve Jobs. Comment Léonard de Vinci se compare-t-il à ces derniers?

Walter Isaacson : Léonard de Vinci partage plusieurs qualités avec eux, à commencer par le fait qu'il était non seulement intelligent, mais aussi très créatif. Ils ont tous posé leur regard sur plusieurs disciplines, des mathématiques à la musique, des sciences aux lettres, et cela les a aidés à être plus inventifs. Par ailleurs, ils arrivaient à penser sans idées préconçues parce qu'ils étaient très attentifs aux motifs qui existent dans la nature. Léonard de Vinci, par exemple, prenait le temps d'observer comment la surface de l'eau ondule lorsque le vent souffle [NDLR : les tourbillons dans l'eau ont plus tard influencé sa manière de peindre des chevelures].

QS : Est-ce que Léonard de Vinci faisait bande à part dans l'Italie de la Renaissance?

WI : Il était assurément marginal. Il était gaucher, fils illégitime et homosexuel. Et je pense même qu'on peut dire qu'il était radical. Se sentir rebelle et différent l'a aidé à défricher de nouveaux terrains et à être plus innovant.



QS : S'intéressait-il à la science en tant qu'outil ou la considérait-il plutôt comme un sujet d'étude valable en lui-même?

WI : Dès l'enfance, Léonard de Vinci s'est intéressé à la science par pure curiosité. Il dessinait les cours d'eau qu'il voyait autour de Vinci, le village toscan où il est né. Il voulait savoir comment la nature fonctionne, comment les roches sont formées, pourquoi le ciel est bleu. Plus tard dans sa vie, il a parfois étudié l'anatomie et l'optique pour améliorer son art, mais la plupart du temps, c'était simplement pour ressentir la joie de comprendre la nature. En effet, il n'est pas nécessaire de savoir pourquoi le ciel est bleu pour peindre *La Joconde*. Je crois que, dans toute l'histoire, Léonard de Vinci a été la personne qui a manifesté la plus grande curiosité.

QS : Quelle était sa relation avec la nature?

WI : Quand il se promenait, il remarquait des choses qui attirent l'attention de bien peu de gens. Comment la lumière éclaire-t-elle un objet courbe? Les oiseaux battent-ils des ailes plus rapidement vers le bas ou vers le haut quand ils décollent? Ce que j'aime avec Léonard de Vinci, c'est qu'on peut s'efforcer de devenir un peu plus comme lui. Ce serait dur pour vous et moi de nous approcher d'Albert Einstein : nous aurions besoin d'une immense puissance cognitive. Mais ce qui distingue Léonard de Vinci, c'est simplement d'avoir pris le temps et la peine d'observer des choses que tout le monde peut voir.

QS : Comment ses études de l'optique ont-elles influencé ses tableaux?

WI : Après avoir appris la notion de perspective aux côtés des artistes florentins qui l'ont inventée, Léonard de Vinci l'a poussée à un tout autre niveau. Dans *L'adoration des mages* [vers 1481], on voit qu'il avait bien compris que les objets paraissent de plus en plus petits à mesure qu'ils sont éloignés. Mais dans *La Cène* [1495-1498], c'est encore plus sophistiqué. Il utilise certes ce même type de perspective, mais il se sert aussi d'une autre astuce : en peignant les murs de manière qu'ils se rapprochent plus rapidement qu'ils le devraient, il accentue l'impression de profondeur. Finalement, il applique aussi le concept de «perspective aérienne», à savoir que les objets plus distants paraissent un peu plus flous. L'une des grandes contributions de Léonard de Vinci a été

de montrer comment peindre une scène sur une surface bidimensionnelle et qu'elle paraisse tridimensionnelle.

QS Léonard de Vinci valorisait beaucoup l'apprentissage par l'observation. Puisait-il aussi une partie de ses connaissances dans les écrits ?

WI Il est né l'année pendant laquelle Gutenberg a produit la première impression en série. Il a donc été en mesure de lire beaucoup de livres, mais il n'a jamais organisé son propre travail pour le public, ce qui est extrêmement dommage... Heureusement, ses carnets de notes ont été très bien conservés et, 500 ans plus tard, on peut toujours les lire. Léonard de Vinci n'a cependant pas été très influent dans les années suivant sa mort parce que très peu de gens ont eu accès à ses carnets.

QS Qu'est-ce que cela aurait changé s'il avait publié une partie de ses travaux scientifiques ?

WI Je suis certain qu'il aurait eu une immense influence en anatomie. Il a fallu attendre 100 ou même 200 ans avant que certaines de ses réalisations soient redécouvertes. Léonard de Vinci avait notamment compris que les valves du cœur ne s'ouvrent pas à cause de la pression sanguine, mais plutôt à cause des tourbillons dans l'écoulement du sang. S'il avait publié ses travaux, il aurait été considéré comme l'un des plus grands anatomistes, un pionnier dans la compréhension de la circulation sanguine et des muscles.

QS Quelle influence a-t-il eue sur les savants de son époque, malgré la faible diffusion de ses travaux ?

WI Il a marqué la représentation graphique de l'information, notamment par la manière dont il dessinait le corps humain, soit en plusieurs couches, et par la beauté de toutes ses illustrations, de l'anatomie aux cartes géographiques. Ses illustrations ont été vues et ont inspiré d'autres personnes à l'époque.

QS L'œil faisait partie de ses sujets fétiches. Qu'a-t-il découvert sur cet organe ?

WI À l'époque, certaines personnes croyaient que les yeux émettaient des



Le *Salvator Mundi*, attribué à Léonard de Vinci, est le tableau le plus cher du monde : il a été vendu 450,3 millions de dollars en 2017.

rayons qui se reflétaient sur les objets et que c'était ainsi qu'on arrivait à voir. Léonard de Vinci a parfaitement compris que les yeux fonctionnent plutôt en captant la lumière environnante qui se reflète sur les objets. Dans ses carnets, 15 pages de notes sont consacrées aux rayons pénétrant dans l'œil et à ses dissections de cet organe. Il tentait de saisir comment les rayons de lumière y sont focalisés. Ces travaux lui ont permis d'apprendre des notions pertinentes à la perspective. Par exemple, il a compris que le centre du champ de vision est plus sensible aux détails, mais que la perception des ombres demeure relativement bonne en périphérie. Il a utilisé ce truc dans *La Joconde*. Si vous regardez directement la bouche de Mona Lisa, vous présumerez qu'elle ne sourit pas. Cependant, en modifiant légèrement la direction de votre regard, les ombres vous donneront l'impression que les coins de ses lèvres se redressent. Son sourire semble vaciller en fonction de la manière dont vous regardez le tableau.

QS L'une des œuvres de Léonard de Vinci découverte tardivement et dont la paternité fait toujours débat, le *Salvator Mundi*, est particulièrement intéressante d'un point de vue

scientifique. Pouvez-vous nous dire pourquoi ?

WI Léonard de Vinci utilisait fréquemment ce qu'il appelait le *sfumato*, c'est-à-dire le brouillement des contours. Grâce à ses études sur l'œil et l'optique, il savait que les lignes d'un objet lointain sont légèrement floues, mais que celles d'un objet plus près de notre visage sur lequel on concentre notre regard paraîtront mieux définies. En peignant l'une des mains de Jésus plus nettement que son visage, il donne l'impression que la main sort du tableau pour nous bénir.

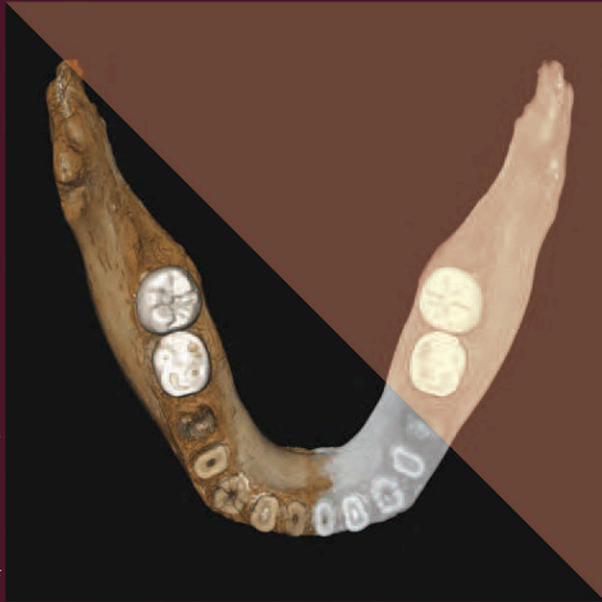
QS Y a-t-il des incohérences scientifiques dans le *Salvator Mundi* ?

WI Plusieurs détails de l'orbe de cristal que tient Jésus dans sa main gauche sont scientifiquement corrects. Cependant, la toge de Jésus qu'on voit à travers la sphère n'est pas déformée. Pourtant, quand vous regardez à travers une boule de cristal, les objets à l'arrière apparaissent déformés ou même renversés. À mon avis, Léonard de Vinci était bien au fait de cette anomalie scientifique. Certaines personnes croient qu'il ne voulait pas distraire le spectateur de la beauté de l'art en déformant la toge qu'on voit à travers l'orbe. Une autre hypothèse, tout à fait plausible selon moi, veut que Léonard de Vinci ait voulu illustrer que rien de ce que touche Jésus ne peut être perverti. Je crois qu'il a intentionnellement peint la toge de Jésus en rupture avec la réalité afin de simuler ce petit miracle.

QS *L'homme de Vitruve* est-il un objet d'art ou de science ?

WI D'abord, c'est évidemment une magnifique œuvre d'art. Ses lignes fines rendent l'image vive et le regard du personnage intense. Mais Léonard de Vinci a aussi pensé *L'homme de Vitruve* comme une œuvre mathématique, en tentant de résoudre la quadrature du cercle. Et aussi comme une œuvre d'anatomie, en montrant les proportions exactes du corps humain. C'est même une œuvre de spiritualité parce qu'elle démontre que les proportions du corps correspondent à celles d'une église parfaite. À mon avis, c'est l'un des ouvrages les plus aboutis de Léonard de Vinci. 

LE PASSÉ REVISITÉ



IMAGES : JEAN-JACQUES HUBLIN / MPI-EVA, LEIPZIG ; ÉTIENNE FABRE / SSAC ; INSTITUT CULTUREL AVANTAO ; ROBERT FRÉCHETTE ; DAMIAN EVANS

Grâce aux techniques de pointe, les archéologues lèvent le voile sur des pans d'histoire autrefois inaccessibles, ce qui les oblige à récrire le passé en partie, voire en totalité.

- Le passé caché dans les molécules p. 18
- Néandertal, une autre humanité p. 24
- Les nombreuses vies d'Angkor p. 26
- Dorsétiens, la fin d'un peuple nordique p. 28
- Ces fascinants Vikings p. 30

LE PASSÉ CACHÉ DANS LES MOLÉCULES

Pour reconstituer le passé, les scientifiques ne se contentent plus d'assembler des fossiles ou d'étudier des éclats de silex. Ils s'appuient aujourd'hui sur des techniques moléculaires d'une précision extrême, qui récrivent l'histoire du monde.

PAR MARINE CORNIOU

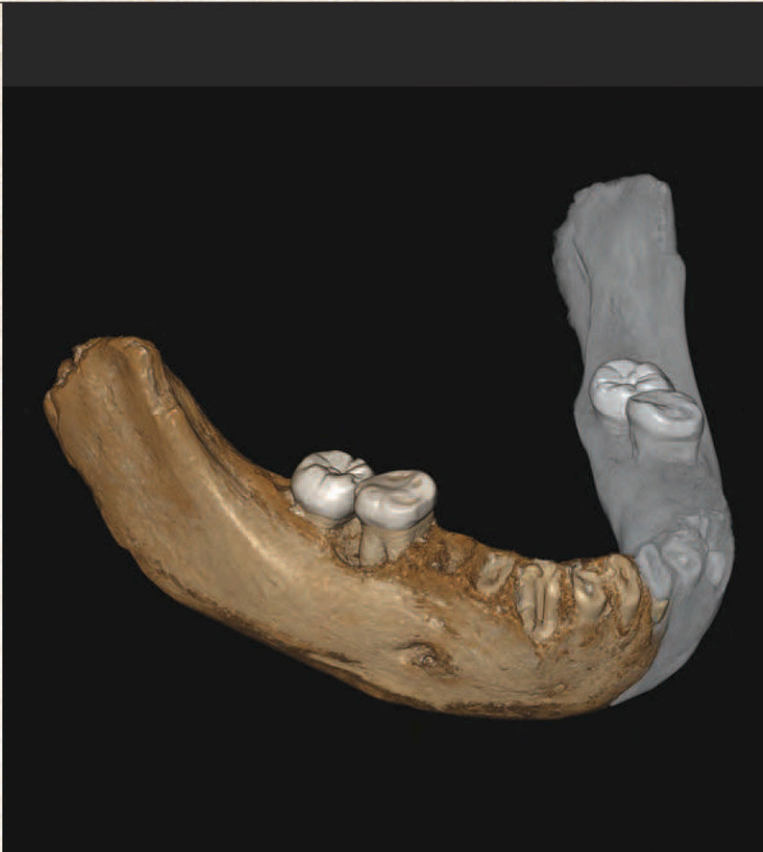
Sur l'écran, la dent numérisée en 3D tourne sur elle-même, sous l'œil satisfait de Josh Lindal, qui vient de programmer l'animation. « C'est dur de rendre une dent intéressante », lance ce jeune anthropologue de l'Université de Winnipeg en s'excusant presque. Pourtant, la molaire en question, précieusement gardée dans un laboratoire en Allemagne, n'a rien de banal. « C'est une molaire de Néandertal », assure le chercheur, détaillant la largeur des « pics » dentaires caractéristiques d'*Homo neandertalensis*.

C'est Josh Lindal qui a authentifié la dent trouvée au milieu de fragments d'os d'animaux exhumés en 2015 d'une grotte en Serbie, où l'équipe de Winnipeg organise des fouilles tous les étés. « C'est la première preuve formelle de la présence des Néandertaliens en Serbie », souligne le chercheur, qui a décrit sa trouvaille âgée de 100 000 ans dans le *Journal of Human Evolution* en juin dernier.

Pour l'instant, la dent est le seul vestige humain mis au jour dans la grotte par l'équipe. Si le butin peut sembler mince

après des mois de fouilles, il n'en est rien. La morphologie de la molaire n'est que la partie visible d'un iceberg d'informations. C'est vrai pour la moindre dent retrouvée, mais aussi pour les os, les outils en pierre, les poteries ou même les excréments fossiles. Tous ces artefacts peuvent livrer une multitude de renseignements allant de l'état de santé d'un individu au type de gibier qu'il mangeait en passant par les traumatismes qu'il a vécus ou même l'âge auquel il a été sevré ! On peut aussi en tirer des conclusions sur les épidémies passées, les mouvements de population, la domestication de diverses espèces et l'évolution de l'agriculture.

« Pendant longtemps, en archéologie, on s'est contentés de ce qu'on pouvait voir à l'œil nu, mais les informations étaient limitées. Aujourd'hui, on réalise que, en plongeant dans les plus petites échelles d'analyse, notre résolution est bien meilleure ! » se réjouissait Christina Warinner, « archéogénéticienne » à l'Institut Max-Planck de la science de l'histoire humaine, au congrès de l'Association américaine pour l'avancement des sciences organisé



Reconstruction virtuelle de la mandibule trouvée au Tibet à 3 000 m d'altitude. L'analyse des protéines qu'elle contient a révélé en mai 2019 qu'il s'agit d'une mandibule de Denisovien.



Reconstruction virtuelle de la molaire découverte par Josh Lindal en Serbie. Elle appartenait à un enfant néandertalien d'environ huit ans.

à Washington en février 2019. L'image du chercheur fouillant le sol à la truelle et au pinceau n'est pas totalement révolue, mais s'y ajoutent désormais le séquençage de l'ADN, la recherche de génomes microbiens, la détection de protéines et de lipides, les analyses de la composition chimique de l'émail des dents...

Autant dire que, avec une molaire entière, Josh Lindal a bon espoir de faire des découvertes marquantes. En fait, mieux vaut tomber sur une dent que sur un os : c'est ce qui résiste le mieux au temps et c'est un véritable registre de la vie d'un individu. Dans sa conférence, Christina Warinner a fait l'éloge de la plaque dentaire. « C'est l'un des trucs les plus *cool* du monde ! Le tartre est la seule partie de l'organisme qui se fossilise pendant qu'on est encore vivant, car il est entièrement minéral. Il grossit avec des cernes de croissance, comme les arbres, informant ainsi sur les différentes périodes de vie. On y trouve des protéines et de l'ADN bactérien, mais aussi des résidus alimentaires ou des molécules du système immunitaire ! »

La molaire néandertalienne, quant à elle, appartenait à un enfant et n'est donc pas très entartrée. Mais elle va livrer son génome, qui sera séquencé sous peu en Allemagne. « Le séquençage est presque devenu la norme », dit Josh Lindal, impatient d'en savoir plus sur le ou la propriétaire de la quenotte essemblée.

LES SECRETS DE L'ADN

L'ADN résiste étonnamment bien aux affres du temps et n'est pas l'apanage des hominés. « On peut en trouver dans tout ce qui a été vivant un jour, des plantes aux microbes en passant par les espèces animales et humaines, éteintes ou non. L'ADN ancien est une fenêtre directe sur le passé, c'est un outil très puissant », s'enthousiasme Bastien Llamas, paléogénéticien à l'Université d'Adélaïde, en Australie.

Rien n'illustre mieux la puissance de l'ADN ancien que la découverte fortuite, en 2010, d'une espèce humaine jamais décrite. Tout est parti d'une minuscule phalange découverte deux ans plus tôt en Sibérie, dans la grotte de Denisova.

« L'ADN ancien est une fenêtre directe sur le passé, c'est un outil très puissant. »

– Bastien Llamas, paléogénéticien à l'Université d'Adélaïde

À priori, rien d'extraordinaire. Sauf que l'os, âgé de plus de 40 000 ans, contenait encore de l'ADN, que l'équipe de Svante Pääbo, de l'Institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste de Leipzig, en Allemagne, a pu décrypter.

Résultat de cette enquête ? La propriétaire de l'os, une petite fille d'environ six ans, appartenait à une espèce d'hominidé proche de Néandertal, mais suffisamment distincte pour qu'on doive ajouter une nouvelle branche à l'arbre généalogique de l'humanité : les « Denisoviens ». Et en 2018, nouveau coup de théâtre ! La même équipe a séquencé l'ADN d'un autre os mis au jour sur les lieux, celui d'une jeune fille née d'un père dénisovien et d'une mère... néandertalienne. De quoi éclairer d'un nouveau jour les interactions humaines, comme l'avait fait en 2014 la publication du génome néandertalien par l'équipe de Svante Pääbo (voir page 24).

Certes, on ne sait pas grand-chose des Denisoviens, mais la preuve moléculaire de leur existence est une sacrée révélation ! D'autant qu'on trouve encore des

traces de leur génome chez les humains d'aujourd'hui en Océanie et en Asie.

« L'information génomique ne renseigne pas uniquement sur l'individu : elle permet de lever le voile sur l'histoire de toute une population, car l'ADN est hérité des parents et de tous les ancêtres avant eux », reprend Bastien Llamas, qui utilise l'ADN pour étudier entre autres l'évolution des bisons, celle de marsupiaux disparus il y a 42 000 ans et les anciens peuples d'Amérique centrale. « Grâce aux génomes préhistoriques, on a appris en 2014 que les Européens actuels ont trois lignées ancestrales : des chasseurs-cueilleurs d'Europe, des fermiers du Proche-Orient et des pastoralistes des steppes russes. Sans l'ADN, il aurait été impossible de le savoir », ajoute-t-il.

On comprend pourquoi la communauté paléoanthropologique s'est emballée pour la technique. Fin 2010, seuls cinq génomes anciens avaient été séquencés. On approche maintenant de la barre des 2 000 génomes humains anciens, sans compter ceux des autres espèces ! « Cette explosion est liée à l'évolution des tech-

niques de séquençage. Depuis 2007, les machines sont capables de séquencer des milliers de petits bouts d'ADN en parallèle : c'est donc parfaitement adapté à l'ADN ancien, qui est très fragmenté », observe Bastien Llamas.

Évidemment, cette extrême fragmentation, due aux agressions du temps, rend l'opération délicate et la paléogénétique a ses limites. D'abord, les coûts sont faramineux et seule une poignée de laboratoires dans le monde possède l'expertise pour effectuer les analyses en évitant toute contamination. Ensuite, dans certaines régions, tropicales notamment, l'ADN se dégrade trop vite. L'homme de Flores, découvert en Indonésie, s'est d'ailleurs montré réfractaire à toutes les tentatives de séquençage.

Enfin, il y a une limite temporelle. « En général, on arrive à remonter à 40 000 ou 60 000 ans, même si dans certaines conditions, comme dans des grottes profondes, on a trouvé de l'ADN conservé depuis 500 000 ans », poursuit l'expert. Le record ? Le génome d'un cheval exhumé du pergélisol au Yukon et âgé de 700 000 ans.

PHOTOS : JEAN-FRANÇOIS HAMELIN



Pour sa thèse de doctorat, réalisée à l'Université de Montréal au Laboratoire d'archéologie de l'Anthropocène et à l'Université de Gênes, Geneviève Pothier-Bouchard analyse le collagène des os trouvés dans des grottes préhistoriques en Italie (photo de gauche). Le site a été occupé successivement par des Néandertaliens et par des *Homo sapiens*.

INCROYABLES PROTÉINES

Notez qu'on est encore loin du *Parc Jurassique* et de son ADN de dinosaure ! En revanche, les protéines, elles, sont des championnes de longévité, capables de rester intactes plusieurs millions d'années dans les archives fossiles. Les préhistoriens s'y intéressent depuis le tournant des années 2000, mais la « paléoprotéomique » est en plein essor grâce à l'amélioration des techniques de détection et d'analyse. À preuve, en 2016, des experts de l'Université de York, au Royaume-Uni, ont pu analyser des protéines dans la coquille d'un œuf d'autruche de 3,8 millions d'années. En 2017, deux équipes ont même affirmé avoir récupéré du collagène dans les os de dinosaures de 80 millions et même de 195 millions d'années, non sans susciter le scepticisme chez certains paléontologues. Quoi qu'il en soit, quand l'ADN n'est plus là pour parler, il y a de bonnes chances que les protéines puissent prendre le relais. L'intérêt, c'est que les protéines sont fabriquées par les cellules en suivant scrupuleusement la « recette » dictée par l'ADN. Autrement dit, décoder leur

composition revient à lire indirectement le génome d'origine.

C'est ce qu'a démontré de façon éclatante l'analyse d'une mâchoire mise au jour au Tibet et dévoilée en mai 2019 dans *Nature*. Âgée de 160 000 ans, elle ne contenait plus d'ADN exploitable. Mais l'équipe chinoise qui l'a étudiée, en collaboration avec l'Institut Max-Planck de Leipzig, a réussi à récupérer du collagène intact dans l'ivoire des dents. Les protéines ont révélé un génome dénisovien, le premier trouvé hors de la grotte de Denisova ! La découverte est immense, puisqu'elle indique notamment que ces humains avaient colonisé les plateaux tibétains à plus de 3 000 m d'altitude bien avant l'arrivée des *Homo sapiens*.

« Le collagène est très robuste. C'est une protéine composée de trois chaînes d'acides aminés, et l'une d'elles est assez variable d'un mammifère à l'autre », explique Geneviève Pothier-Bouchard, doctorante en anthropologie à l'Université de Montréal. Ainsi, la « recette » du collagène, que contiennent en abondance les os fossiles et les dents, est différente

d'une espèce à l'autre. « En analysant sa composition, on peut discriminer un fossile de chèvre de celui d'un mouton par exemple », dit-elle. Ou de *sapiens* et de Dénisovien, en l'occurrence. Geneviève Pothier-Bouchard, elle, utilise le collagène des os pour étudier les « restants de table » de Néandertaliens et d'*Homo sapiens* sur un site en Italie. « Les os sont pulvérisés : je ne pourrais pas en identifier plus de un pour cent si je n'avais pas recours à l'analyse du collagène », note-t-elle. Elle a déjà pu montrer que les occupants du site mangeaient surtout des cervidés, des animaux peu mobiles. « Ces humains se déplaçaient très loin pour aller chercher de la pierre, mais ils chassaient autour de leur site d'occupation », observe-t-elle.

Sa méthode, appelée ZOOMS (pour « zooarchéologie par spectrométrie de masse »), a été mise au point au Royaume-Uni en 2009 et consiste, en gros, à scinder les protéines de collagène et à déterminer la masse de chaque tronçon. « C'est un peu comme obtenir le code-barres du collagène », signale la jeune femme, qui collabore d'ailleurs avec l'inventeur de la

C'est dans cette grotte tibétaine qu'a été trouvée par hasard la mandibule dénisovienne, en 1980. L'équipe chinoise qui a mené les analyses de protéines sur la mandibule a décidé d'excaver la grotte.

IMAGE : DONGJIU ZHANG / UNIVERSITÉ DE LANZHOU



Au laboratoire de l'Institut Max Planck, un chercheur extrait de l'ADN ancien dans une salle blanche pour éviter toute contamination.

MPI FOR EVOLUTIONARY ANTHROPOLOGY



technique. L'avantage? « C'est beaucoup moins cher que l'analyse d'ADN et cela permet d'examiner jusqu'à 1 000 fragments d'os par semaine », fait-elle remarquer. C'est d'ailleurs grâce à la ZOOMS que des chercheurs de l'Institut Max-Planck de Leipzig (encore eux!) ont pu passer au crible la grotte de Denisova. Ils avaient exhumé 2 000 fragments d'os, dont l'immense majorité appartenait à des animaux. Mais ils ont pu déceler rapidement du collagène humain dans 5 ossements, ce qui leur a permis de découvrir le fameux fossile mi-dénisovien, mi-néandertalien. Un coup d'accélérateur technique, doublé d'un bon coup de chance.

Seul hic, la spectrométrie de masse comme l'analyse d'ADN endommagent les précieux échantillons. C'est pourquoi April Nowell opte plutôt pour l'électrophorèse : rapide, pas trop chère et non destructive. Pour faire court, cette jeune archéologue de l'Université de Victoria utilise des anticorps, sortes d'aimants qui se fixent à certaines protéines dont elle soupçonne la présence.

C'est un de ses collègues qui l'a convaincue d'essayer la méthode en 2016, alors qu'elle étudiait des outils en pierre probablement taillés par des *Homo erectus* il y a 250 000 ans en Jordanie. « Je n'y croyais pas trop, mais on a sélectionné des outils très usés, avec de nombreuses microcrevasses dans lesquelles de la chair, du sang et de la graisse sont restés emprisonnés. Et l'on y a décelé des protéines de canard, de cheval, de chameau, de bovin, de rhinocéros et d'éléphant d'Asie! » énumère-t-elle, encore surprise par la variété des espèces dépecées et donc des techniques de chasse de ces humains primitifs. À ce jour, ce sont les protéines les plus anciennes jamais retrouvées sur des outils en pierre.

En déchiffrant l'infiniment petit, les préhistoriens s'autorisent une relecture complète du passé, accédant à des détails invisibles jusqu'ici. Et ce n'est que le début. En 2017, l'équipe de Svante Pääbo a trouvé de l'ADN de Néandertaliens dans les sédiments de quatre grottes eurasiennes... sans toucher au moindre fossile! Préservé dans les différentes couches de sol, l'ADN provient des excréments ou des tissus mous des personnes ayant occupé le site il y a des millénaires. L'équipe allemande essaie d'ailleurs d'en repérer dans la grotte où travaille Geneviève Pothier-Bouchard et dans laquelle aucun ossement humain n'a encore été découvert. Parmi les autres techniques émergentes, l'analyse de l'épigénome, c'est-à-dire des marques chimiques accrochées au génome qui régulent l'expression des gènes, commence à montrer son potentiel. « C'est un de mes dadas en ce moment, lance Bastien Llamas. Les marques de méthylation résistent plutôt bien à l'usure du temps. Je les étudie sur de l'ADN de bison de 49 900 ans! » L'intérêt, c'est que la méthylation donne des indices sur le type de gènes exprimés et donc sur l'anatomie, l'adaptation à l'environnement, le mode de vie, etc.

Voilà un beau pied de nez à ceux qui pensent que l'étude du passé est une science « molle ». « En fait, c'est tout le contraire, assure Bruno Maureille, spécialiste français des Néandertaliens. Les paléanthropologues et les préhistoriens en général ont toujours été à l'affût des innovations scientifiques. Ils intègrent très rapidement les nouvelles méthodologies : au début du 20^e siècle, les premiers ossements radiographiés étaient d'ailleurs des ossements néandertaliens! » Reste que ces outils ne dispensent pas du travail de base : passer les grottes au peigne fin, déterrer des fossiles, puis interpréter les données. C'est pourquoi Josh Lindal passera encore une bonne partie de son été en Serbie à gratter des carrés de fouilles, centimètre par centimètre. Il ne se fait pas d'illusion : ses chances de trouver une autre dent humaine, au milieu des os d'ours et de bouquetin, restent infimes. ⑩

VOIR DE LOIN, À TRAVERS... OU DE TRÈS PRÈS

Il suffit parfois de prendre de la hauteur pour enfin voir ce qu'on avait sous le nez. Le lidar, une méthode de télédétection par laser, le prouve depuis une dizaine d'années en révélant des vestiges archéologiques plus spectaculaires les uns que les autres.

Rien qu'en 2018, plus de 60 000 structures mayas ont été découvertes grâce à cette méthode, qui consiste à balayer la surface d'un territoire avec des impulsions laser émises d'un avion ou d'un drone. En « rebondissant » au sol, les faisceaux laser informent sur les reliefs du terrain, qui peuvent être décelés au centimètre près, y compris sous l'épaisse jungle du Guatemala et du Belize.

« La technique existe depuis plusieurs décennies, mais elle n'était pas au point. En 2009, une équipe au Belize a enfin pu utiliser le lidar pour la première fois sur une zone étendue et a mis au jour le site maya de Caracol. Ça a été une inspiration pour beaucoup d'entre nous », explique Damian Evans, de l'École française d'Extrême-Orient, qui étudie Angkor, au Cambodge, grâce à ce laser hélicopté (voir page 26).

Rien de mieux pour cartographier rapidement de vastes sites archéologiques ou pour tomber sur des trésors cachés. Outre les cités archéologiques tropicales, encore très peu connues, le lidar a permis de découvrir des monuments néolithiques enterrés en Irlande, une forteresse millénaire au Danemark et une cité du 15^e siècle en Afrique du Sud.

D'autres techniques comme la thermographie à infrarouge et la radiographie à base de muons sont pour leur part employées depuis quelques années en Égypte pour littéralement voir à travers des murs des grandes pyramides. Du côté des fossiles, l'imagerie de pointe est elle aussi réquisitionnée. On ne compte plus les momies échographiées ou passées dans un tomodesitomètre (*scanner*).

Le Muséum national d'histoire naturelle de Paris, par exemple, scrute en détail tout ce qui garnit ses collections : météorites, instruments de musique, animaux et fossiles. « Nous avons un microtomographe avec deux émetteurs de rayons X qui permet de recueillir des données d'imagerie à des résolutions plusieurs fois supérieures à celles des *scanners* médicaux », dit Antoine Balzeau, codirecteur de cette plateforme nommée AST-RX. Le paléanthropologue a récemment mis en évidence des traces d'une maladie, la neurofibromatose, sur le crâne d'un homme de Cro-Magnon. « Je travaille sur la forme du cerveau des hominidés, dont les empreintes sont conservées sur la face interne des crânes », ajoute-t-il. Une façon de « voir » des cerveaux pourtant disparus depuis belle lurette.

À LIRE AUSSI :

La riche histoire d'une dent

Une équipe australienne a pu retracer le parcours d'un enfant néandertalien grâce à l'analyse chimique de l'émail d'une dent.

www.quebecscience.qc.ca/sciences/archeologie-histoire-dent

La révolution de l'ADN ancien

Entrevoir avec un archéologue sur la façon dont l'analyse des génomes anciens a chamboulé l'archéologie.

www.quebecscience.qc.ca/sciences/adn-ancien-revolution-archeologie



PASSEPORT POUR L'UNIVERS

UN VOYAGE
INOUBLIABLE
DANS LE COSMOS

PLANÉTARIUM RIO TINTO ALCAN

 AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY



VIAU

espacepourlavie.ca

Montréal 



espace
pour la
vie montréal

PASSEPORT POUR L'UNIVERS A ÉTÉ DÉVELOPPÉ PAR L'AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY, NEW YORK (AMNH.ORG)
EN COLLABORATION AVEC LA NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA).

NÉANDERTAL

UNE AUTRE HUMANITÉ

Première espèce humaine fossile mise au jour, *Homo neandertalensis* a longtemps été considéré comme un être primitif. Les découvertes récentes dessinent un portrait bien différent.

PAR MARINE CORNIOU

Ils ont d'abord cheminé dans la galerie rocheuse, s'enfonçant toujours plus loin dans la grotte à la lueur de torches en os. Puis, à 300 m de l'entrée, dans une vaste cavité, ils ont choisi quelque 400 stalactites de diamètre équivalent, les ont brisées et disposées en deux larges cercles. L'agencement minutieux est ensuite resté à l'abri des regards et de la lumière du jour pendant des millénaires.

Située dans le sud-ouest de la France, la grotte en question, dite de Bruniquel, a finalement été explorée en 1990, laissant les archéologues perplexes. Il a fallu attendre 2016 pour que des datations effectuées par une équipe franco-belge révèlent que la structure avait en fait 176 000 ans ! Les anneaux de roches sont devenus la plus vieille « construction » connue et ont du même coup repoussé de quelque 130 000 ans l'appropriation du monde souterrain par l'humanité. Or, cette humanité n'était pas « nous » : à l'époque, seul Néandertal, une espèce humaine cousine d'*Homo sapiens*, habitait la région.

« Bruniquel est une immense découverte, s'enthousiasme Bruno Maureille, chercheur au Centre national de la recherche scientifique (CNRS) à Bordeaux et spécialiste des Néandertaliens. Cette construction énigmatique montre clairement que les bâtisseurs avaient des préoccupations non matérielles. Ce site nous amène à nous questionner sur la structuration sociale des Néandertaliens, qui nous échappe totalement. »

Ces premiers occupants d'Europe étaient déjà présents en Espagne il y a 430 000 ans. Ils ont été la seule espèce du genre humain à déambuler sur un immense territoire, couvrant toute l'Europe jusqu'au sud de la Sibérie en passant par le Proche-Orient, jusqu'à l'arrivée des *Homo sapiens*, en provenance d'Afrique, il y a environ 50 000 ans. Puis, de 10 à 15 000 ans plus tard, pour des raisons floues, Néandertal s'est éteint, laissant les humains anatomiquement modernes seuls maîtres des lieux.

En dépit de leur règne incontestable, ces gaillards robustes ayant résisté à trois glaciations ont essuyé bien des insultes et suscité nombre de débats depuis leur découverte en Allemagne, en 1856. Tour à tour dépeints comme des sous-hommes aux traits de singe et des brutes épaisses, les Néandertaliens sont, depuis 160 ans, victimes de préjugés inhérents à leur condition d'humains différents. Mais la découverte de Bruniquel, publiée dans *Nature*, a alimenté un faisceau d'indices archéologiques récents, qui pointent tous vers la même conclusion : les comportements des Néandertaliens étaient comparables, à plusieurs égards, à ceux de nos ancêtres *sapiens*.

Ainsi, l'existence d'une dimension esthétique et symbolique chez Néandertal ne fait plus de doute : utilisation de pigments et de colle, décoration de coquillages, gravures, confection de bijoux avec des os ou des serres de rapace... En 2018, des datations effectuées sur des peintures à l'ocre rouge, mises au jour en Espagne,

ont là aussi laissé penser que les artistes étaient néandertaliens. Surprise ! Même l'art pariétal n'est plus l'apanage des humains modernes.

Quant à leurs habitudes de vie, elles font elles aussi l'objet d'une avalanche de découvertes, malgré la relative rareté des vestiges humains. « Environ 400 sites ont livré des ossements néandertaliens, mais on n'a que 25 squelettes bien conservés », résume Bruno Maureille. Grâce aux nouvelles techniques d'analyse, les préhistoriens sont toutefois passés maîtres dans l'art de faire parler chaque os, chaque dent et même chaque outil ou excrément fossile pour cerner l'identité néandertalienne.

En 2017, une équipe australienne a analysé l'ADN pris au piège dans le tartre dentaire de Néandertaliens et montré qu'ils consommaient plusieurs plantes médicinales en cas d'abcès dentaire par exemple. Des études ont aussi révélé la diversité des régimes alimentaires de ces groupes, dont les membres étaient d'habiles cueilleurs et chasseurs, fabriquant des lances en bois et tuant des proies jusqu'à une distance de 20 m. Au menu ? Rhinocéros laineux, mouflons et autre gros gibier en Belgique ; champignons et pignons de pin en Espagne ; rhizomes et végétaux cuits en Irak.

Quant aux analyses génomiques, elles ont carrément fait prendre une nouvelle tournure à l'histoire de l'humanité avec la publication, en 2014, du génome de trois Néandertaliens par l'équipe de Svante Pääbo, le pionnier de la paléogénomique.



Structure circulaire dans la grotte de Bruniquel

“ La grotte de Bruniquel est une immense découverte. Cette construction énigmatique montre que les bâtisseurs avaient des préoccupations non matérielles. ”

– Bruno Maureille, paléanthropologue à l'Université de Bordeaux

Ce travail a confirmé les différences entre Néandertal et nous ; mais il a surtout établi que nos deux peuples se sont croisés et hybridés à plusieurs reprises. Si bien qu'aujourd'hui nos génomes (Africains subsahariens mis à part) contiennent encore des portions d'ADN néandertalien !

Certes, des chercheurs se doutaient qu'il y avait eu des échanges entre ces groupes humains (notamment en raison d'objets hybrides entre les deux cultures), mais ces résultats ont contribué à réhabiliter Néandertal pour de bon. Si *Homo sapiens* et *Homo neandertalensis* ont parfois été amants et que les Néandertaliens se sont aussi croisés avec d'autres cousins, les Denisoviens, comme l'a démontré une étude publiée en 2018, n'est-ce pas le signe que ces différentes humanités étaient toutes... égales ?

Reste l'ultime preuve d'humanité : celle de l'inhumation des morts. Même si une quarantaine de sépultures probables ont été trouvées, surtout en Irak et en France, les rites funéraires restent au cœur d'intenses débats. « Une partie de la communauté scientifique refuse la possibilité que les Néandertaliens aient donné des sépultures à leurs proches, car cela prouverait qu'ils

ont disparu pour d'autres raisons que leur supposée infériorité. Ce qui nous force à accepter que, nous aussi, nous pouvons disparaître », analyse Bruno Maureille.

Qu'est-ce qui a fait qu'*Homo sapiens* a conquis le monde, évinçant au passage les autres groupes humains ? « On est obsédés par la disparition des Néandertaliens parce qu'on ne la comprend pas », indique le paléanthropologue. Ainsi, aucune preuve d'affrontement avec *Homo sapiens* ni aucun site ayant été occupé à quelques années près par les deux espèces n'ont jamais été découverts. Les « croisements » auraient plutôt eu lieu au Proche-Orient, des millénaires avant l'extinction.

Pour Antoine Balzeau, paléanthropologue au CNRS à Paris, la disparition de Néandertal n'est peut-être pas si mystérieuse, après tout. « Depuis que la Terre existe, plus de 99% des espèces ont disparu, y compris des espèces intellectuellement fortes », souligne-t-il. D'ailleurs, le séquençage du génome de deux *Homo sapiens* arrivés il y a environ 50 000 ans en Europe de l'Ouest a révélé que leurs lignées ont elles aussi disparu.

Néandertal s'est-il simplement éteint de sa belle mort, dans son coin ? « Chose

certaine, il faut cesser de hiérarchiser les espèces humaines : notre anthropocentrisme biaise tout ce que nous faisons ! Ils n'étaient ni inférieurs ni égaux, juste différents. Et avec un cerveau très différent du nôtre, ces gens avaient des comportements tout aussi complexes », observe M. Balzeau. Et ils nous prouvent, découverte après découverte, qu'il n'y a pas eu qu'une seule façon d'être humain. 🇫🇷



Les Néandertaliens avaient des membres courts et puissants, une cage thoracique large et des arcades sourcilières proéminentes. Selon des analyses, ils ont pu être roux à la peau pâle et aux yeux clairs.

LES NOMBREUSES VIES

D'ANGKOR

Angkor, le centre de l'ancien Empire khmer au cœur de l'actuel Cambodge, est un lieu aussi magnifique que mythique. Mais des gens bien ordinaires y vivaient !

PAR MÉLISSA GUILLEMETTE

Le complexe d'Angkor est non seulement l'un des plus grands sites archéologiques actifs du monde, mais aussi l'une des destinations les plus courues en Asie. L'an dernier, 2,6 millions de touristes se sont photographiés devant la douve du temple Angkor Vat ou dans les racines envahissantes de Ta Prohm, où le film *Tomb Raider* a été tourné. Le site médiéval est tellement grand, avec ses 400 km², qu'on peut acheter un laissez-passer valide plusieurs jours pour visiter les ruines des différents temples, reliés par des routes, et pour admirer les monuments et le réseau hydraulique sophistiqué.

C'était une autre histoire dans les années 1990 : seuls les Cambodgiens s'y aventuraient, alors que s'achevait la guérilla sanguinaire des Khmers rouges. « On s'y rendait en famille pour le culte et avec mes collègues de classe, au secondaire, j'allais souvent y faire du vélo et des pique-niques, se souvient Piphall Heng, qui est né dans la ville juste à côté, Siem Reap. Je me suis toujours demandé comment et pourquoi ces temples ont été construits et surtout qui les a construits. »

Ces questions ont façonné la carrière de l'archéologue, qui étudie depuis une quinzaine d'années le site témoignant du règne de l'Empire khmer, qui s'est étendu du

9^e siècle au 15^e siècle sur la majeure partie de l'Asie du Sud-Est. « Le récit d'Angkor [qui émerge des travaux antérieurs] laisse croire qu'on sait tout et que tout a été étudié parce que l'accent a été mis sur les rois, les élites et la religion, à partir des inscriptions sur les temples », explique Piphall Heng. Mais de quoi avait l'air ce grand complexe où l'on soupçonne que 750 000 personnes habitaient ? Où vivaient les serviteurs et les simples citoyens ? Et que faisaient-ils en dehors du culte ?

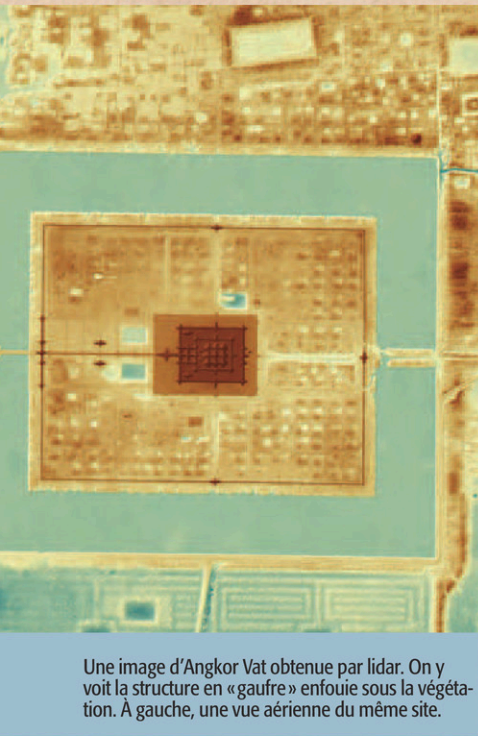
Des excavations destinées à répondre à ces questions ont commencé en 2010, mais l'utilisation du lidar à partir de 2012 a fourni un tableau inédit de la cité. C'était la première fois que la télédétection par laser était utilisée au-dessus d'une vaste région en Asie, et l'exercice a révélé ce qui se cachait sous la végétation, mentionne Piphall Heng, qui est aujourd'hui directeur de projet à l'International Archaeological Research Institute à Honolulu. « Nous avons recouru à cette technologie pour produire une carte détaillée, ce qui nous a permis de localiser les temples, les étangs et les buttes... »

Des buttes ? C'est qu'à l'intérieur de l'enceinte des différents temples et même à l'extérieur, le sol a été travaillé : des habitations devaient se trouver sur ces monticules, pour résister aux saisons des

pluies, tandis que les étangs recueillaient l'eau. « Avec les données du lidar, on a pu voir très clairement cet aménagement incroyablement bien organisé, et des sentiers. À Angkor Vat, ça a carrément l'air d'une gaufre ! On creuse donc dans ces buttes », raconte Alison Carter, professeure à l'Université de l'Oregon, aux États-Unis, qui a signé des articles scientifiques avec Piphall Heng. Ce système « en grille » est visible même à quelques kilomètres des temples, mais de façon moins dense.

Qui vivait donc autour d'Angkor Vat et de Ta Prohm, deux temples où l'équipe a fait des excavations ? Les scientifiques n'en sont pas certains, mais des inscriptions sur les murs de Ta Prohm laissent penser que des étudiants et des enseignants y habitaient, ainsi que des serviteurs, indiquent-ils dans un article du *Journal of Field Archaeology* de 2018. « Je crois que les gens qui vivaient dans l'enceinte travaillaient peut-être au temple, que ce n'était pas des membres de l'élite, dit Alison Carter. À Angkor Vat non plus, ça ne semble pas être des gens de haut rang, mais ce ne sont pas les plus pauvres non plus. »

Les artefacts trouvés jusqu'à présent sont surtout des morceaux de céramique, qui servaient à cuisiner et à ranger des



Une image d'Angkor Vat obtenue par lidar. On y voit la structure en «gaufre» enfouie sous la végétation. À gauche, une vue aérienne du même site.



Le Bayon, le temple central de l'ancienne cité d'Angkor Thom

objets, et des tuiles. Des résidus végétaux sont aussi à l'étude pour déterminer ce que mangeaient les habitants.

Alison Carter a également un projet inusité concernant les toilettes de l'époque! «L'élite écrit toujours l'histoire, mais le pouvoir de l'archéologie est justement de reconstituer la vie de ceux qui n'ont pas pu l'écrire, à travers ce qu'ils ont laissé comme traces. Ce sont les personnes «ordinaires» qui composaient le gros de la population, ce sont elles qui ont construit le réseau hydraulique, qui ont fait fonctionner les temples, qui ont fabriqué les céramiques qu'on découvre!»

Les circonstances mystérieuses entourant la chute d'Angkor ajoutent au mythe de la cité. Certains croient que son abandon a été rapide au 15^e siècle, en raison d'enjeux climatiques causant de graves problèmes au réseau hydraulique et de l'invasion des troupes thaïes du royaume d'Ayutthaya. Une étude récemment publiée dans *Proceedings of the National Academy of Sciences* avance plutôt que le déclin a été graduel et que le tournant démographique s'est même amorcé au siècle précédent.

C'est une carotte de sédiments de 70 cm prélevée au fond de la douve de la cité royale d'Angkor Thom qui a

informé l'équipe internationale derrière ces travaux. L'analyse du pollen qu'elle contient a permis de définir l'environnement des différentes époques, dont celle correspondant à la «fin» de l'Empire. «On peut voir quand les populations ont défriché le territoire, quand elles ont commencé à produire du riz et quand la production de riz a stoppé et que la forêt a recommencé à croître», explique Damian Evans, l'un des auteurs de l'étude qui a aussi participé aux travaux menés avec le lidar.

Ces données montrent que les activités sur le site ont commencé à décliner dès les premières décennies du 14^e siècle et que la douve a même cessé d'être entretenue au cours de ce siècle. La désertion d'Angkor par la noblesse n'est peut-être donc pas due à l'échec du système hydraulique. Ce serait l'inverse, en fait : l'élite aurait choisi de s'installer près du Mékong et du Tonle Sap, et a cessé d'entretenir le réseau hydraulique, qui s'est dégradé.

Mais des agriculteurs sont restés. «Cela nous conduit à revoir notre conception d'Angkor et cette idée qu'il fallait une élite pour l'administrer, dit M. Evans, chercheur à l'École française d'Extrême-Orient de Paris. Les citoyens pouvaient s'arranger : les petites fermes étaient des structures résilientes.» À qui la ville? 

CARRIÈRE D'AVENIR

Les archéologues sont très recherchés au Cambodge, selon Sokrithy Im, qui est employé par l'Autorité pour la protection du site et l'aménagement de la région d'Angkor. Plusieurs centaines d'archéologues cambodgiens travaillent sur ce site, en recherche, conservation ou tourisme.

«Il y a également des lieux archéologiques dans toutes les provinces du Cambodge, donc les diplômés trouvent tout de suite un emploi», affirme l'archéologue, qui enseigne aussi à la Royal University of Fine Arts, à Phnom Penh.

Ses travaux portent sur les routes historiques reliant Angkor à d'autres régions du monde. Il s'intéresse par le fait même aux activités économiques de l'Empire.

«Beaucoup de chercheurs croient que l'Empire khmer était un état agraire. Mais si c'était le cas, pourquoi y aurait-il eu une route allant jusqu'à la mer? Il existe des preuves que l'Empire faisait aussi le commerce de diverses marchandises locales, comme des objets travaillés en fer de bonne qualité, ainsi que de produits de la forêt, de médicaments traditionnels, d'épices et de minéraux. Nous trouvons aussi des céramiques importées témoignant d'échanges.» On n'a pas fini d'en apprendre sur cet empire mythique!

DORSÉTIENS

LA FIN D'UN PEUPLE NORDIQUE

Seuls des gravures dans la roche, d'anciennes fondations et quelques artefacts témoignent du passage dans le nord du Canada des Dorsétiens, un peuple disparu. Qui étaient-ils ? **PAR ANNIE LABRECQUE**

Aquelque 40 km de la communauté inuite de Kangiqsujuaq, l'extrémité nord-est d'une île inhabitée offre un spectacle étonnant : 180 visages humains, et quelques figures animales, sont gravés sur une large veine de stéatite, une roche aussi appelée pierre de savon. Le site est connu sous le nom de Qajartalik (prononcer « rha-yar-ta-lik »), qui signifie en inuktitut « où il y a un kayak ». D'une superficie d'environ 1 800 m², il a été désigné candidat par le Canada en 2017 pour figurer sur la Liste du patrimoine mondial de l'Unesco.

La mise en candidature du site a été coordonnée par l'Institut culturel Avataq, un organisme du Nunavik qui assure la préservation de la culture inuite. « Les figures se ressemblent beaucoup, mentionne Elsa Cencig, archéologue à l'Institut. Elles sont ovales, rondes ou rectangulaires avec des lignes pour représenter les yeux. » Seules ou en groupe sur la paroi rocheuse, elles mesurent de 2 cm à 70 cm et auraient été gravées par différents artistes.

Les archéologues n'arrivent pas à savoir pourquoi elles sont si nombreuses à cet endroit précis et pourquoi elles ont été réalisées. Seule certitude, ce ne sont pas des pétroglyphes inuits; ce sont plutôt les Dorsétiens qui les ont créées avec un outil pour buriner, piquer ou inciser la stéatite. Munie de gants bleus, Elsa Cencig nous montre d'ailleurs quelques délicates sculptures dorsétiennes, dont celle d'un phoque en ivoire, pas plus grosse qu'une gomme à effacer. Elle est exposée dans une vitrine des bureaux montréalais de l'Institut culturel Avataq.

Les légendes inuites font référence aux Dorsétiens comme étant les Tuniit, c'est-à-dire les « premiers habitants », qu'elles décrivent comme étant très forts, rustres et timides. Ce peuple a occupé le territoire de l'Arctique canadien à partir de 500 ans avant notre ère et jusqu'en 1050 environ, tandis que les Thuléens, les ancêtres des Inuits, y sont arrivés une centaine d'années plus tard. Elsa Cencig raconte que les Dorsétiens vivaient près de la mer et de la banquise. « Ils chassaient des mammifères marins comme le phoque et le morse. Adaptés à l'environnement froid, ils utilisaient de petits crampons sous leurs bottes et possédaient des traîneaux à main avec des patins en os », dit-elle après nous avoir montré des lampes sculptées par les Dorsétiens dont la majorité sont conservées dans l'immense réserve muséale de l'Institut, également située à Montréal.

Il est impossible de dater les dessins au carbone 14 en raison du support inorganique des œuvres (voir l'encadré à la page suivante). Mais des études comparatives et stylistiques permettent d'attribuer aux Dorsétiens la paternité des pétroglyphes de Qajartalik. « Ce type de visage se trouvait aussi sur les manches d'outils dorsétiens et sur de petites figurines », confirme Elsa Cencig. Les Inuits, quant à eux, ne faisaient pas ce genre de dessins pas plus qu'ils n'en ornaient leurs outils.

Louis Gagnon, conservateur de l'Institut culturel Avataq, relate que, lors de sa première expédition à Qajartalik, en 1996, certains Inuits appréhendaient et évitaient ce lieu qui, selon un aîné, « appartenait peut-être à un chamane ». Les archéologues de l'Institut réfutent toutefois cette hypothèse de représentation du diable, un concept

tiré de la religion catholique, mais absent du chamanisme des Dorsétiens.

UN PEUPLE DISTINCT DES INUITS

Plusieurs sites d'anciennes habitations dorsétiennes à travers l'Arctique témoignent de la présence de ce peuple. « On y trouve des os d'animaux, des outils et des pierres utilisés pour leurs maisons longues, une habitation semi-souterraine qu'ils ont introduite », explique l'archéologue Jamie Brake, du gouvernement du Nunatsiavut, dirigé par les Inuits de Terre-Neuve-et-Labrador. Il s'intéresse à la conservation de ces sites, souvent côtiers, et donc à risque de disparaître avec la hausse du niveau de la mer.

« Cela ne fait aucun doute dans notre esprit que les changements climatiques et l'érosion côtière causent déjà bien des dommages aux sites archéologiques, s'inquiète Jamie Brake. Une grande partie d'un site dorsétien qui était en excellente condition a été détruite par l'océan. Nous ne pourrions malheureusement pas sauver tous les sites. » D'où cette urgence d'aller examiner les sites les plus importants aux yeux de la communauté avant que l'eau les engloutisse.

Jamie Brake s'émerveille lui aussi devant la production artistique des Dorsétiens, qui était particulièrement féconde à la fin de leur occupation du territoire. « L'art nous donne une idée de ce à quoi ils ressemblaient ou des vêtements qu'ils portaient, comme des mitaines ou des bottes ainsi que d'étranges parkas avec un col très haut derrière la tête », indique-t-il.

Même s'il subsiste une aura de mystère – est-ce que les modifications du climat et l'épuisement des ressources ont précipité

leur déclin? Pourquoi ont-ils disparu? –, les avancées technologiques des dernières années ont permis de jeter un éclairage nouveau sur les premiers habitants de l'Arctique.

Par exemple, on sait maintenant avec certitude qu'il n'y a pas eu de métissage entre les Dorsétiens et les Thuléens. Cette étude, menée par un groupe international de chercheurs, a été publiée en 2014 dans la revue *Science*. Grâce à l'analyse de l'ADN ancien de 169 précieux fragments d'os humains, de dents et de cheveux provenant du Canada, de Sibérie, du Groenland et d'Alaska, des experts en génétique ont déterminé que les pré-Dorsétiens, les ancêtres des Dorsétiens, sont arrivés en Arctique il y a 5 000 ans. Ceux-ci ont franchi

en même temps que d'autres peuples le pont de terre entre la Sibérie et l'Alaska, avant qu'il soit recouvert par la montée des eaux. Les chercheurs ont aussi conclu que les pré-Dorsétiens et les Dorsétiens étaient un groupe génétiquement distinct des Inuits et des Amérindiens, qui vivaient plus au sud, et qu'ils ont été isolés des autres peuples pendant 4 000 ans avant de disparaître complètement. Ces résultats auraient été impossibles à obtenir seulement à l'aide de fouilles archéologiques.

« Ce fut la fin d'une longue occupation sur des millénaires d'un peuple adapté à l'Arctique », termine l'archéologue Jamie Brake. Une occupation qui n'a pas fini d'être étudiée... 03

LES PIÈGES DE LA DATATION

La datation au carbone 14 ne peut être effectuée sur les spécimens organiques marins ni sur la plupart des sites et artefacts dorsétiens, où l'on trouve de l'huile de phoque. Ceux-ci sont dits « contaminés » par ce qu'on appelle l'effet réservoir marin. Les animaux marins absorbent le carbone différemment des animaux terrestres. Les chercheurs doivent donc tenir compte de cet effet, car la datation obtenue sur ces échantillons est plus ancienne que ce qu'elle est en réalité.



Les pétroglyphes de Qajartalik mesurent de 2 cm à 70 cm et auraient été gravés par différents artistes dorsétiens. Les figures ne sont pas visibles au premier coup d'œil, car elles s'intègrent complètement à l'environnement, d'après Louis Gagnon, conservateur de l'Institut culturel Avataq. L'équipe projette d'utiliser un appareil à balayage sur le site lors d'une prochaine expédition pour réaliser l'inventaire en 3D de toutes les figures.

CES FASCINANTS VIKINGS

On se représente les Vikings comme de redoutables guerriers barbus à la proue d'un bateau. Mais ces pilliers étaient aussi chasseurs, agriculteurs, marchands et navigateurs. Chaque découverte laisse entrevoir un autre pan de leur histoire.

PAR ANNIE LABRECQUE

Christophe Colomb ne s'en doutait pas, mais il était loin d'être le premier explorateur européen à poser les pieds en Amérique. Les Vikings avaient entrepris ce long et périlleux voyage sur l'océan Atlantique dès le 9^e siècle, comme l'attestent les vestiges de plusieurs habitations et les artefacts découverts en 1961 à L'Anse aux Meadows, à l'extrémité nord de Terre-Neuve.

La civilisation viking est difficile à circonscrire. Elle représente une diaspora originaire de plusieurs pays nordiques qui a prospéré de 700 à 1000 environ. Le terme *viking* ne désigne donc pas une ethnie en particulier, mais plutôt un métier, voire une façon de vivre.

Outre les côtes nord-américaines, ils se sont rendus au Groenland, en Islande, en Italie, en Russie et même en Afrique du Nord à bord de solides bateaux qui arboraient souvent une tête de dragon. Ceux-ci servaient de moyen de transport pour les échanges commerciaux, la guerre et la conquête de nouveaux territoires et faisaient ultimement office de sépulture, un privilège réservé à ceux qui bénéficiaient d'un statut élevé. « Le bateau le plus connu est l'Oseberg, découvert en 1904 en Norvège, mentionne l'archéologue canadienne Michele Hayeur Smith, de l'Université Brown, aux États-Unis. On a trouvé un grand monticule où était enseveli le navire ainsi que deux squelettes

de femmes à l'intérieur. C'était très courant d'enterrer aussi des chariots, des traîneaux, des chevaux décapités et de l'équipement de tissage. »

Les Vikings, qui étaient païens, inhumèrent leurs morts près des habitations pour qu'ils puissent continuer à participer aux activités des vivants. « On les intégrait aux festivités et on leur apportait de la nourriture », raconte Michele Hayeur Smith.

UN GRAND BATEAU ENFOUI

La découverte d'un bateau s'avère donc très excitante pour les archéologues, car même si les Vikings en ont construit des milliers pendant leur règne, on en a retrouvé très peu. « Il y a seulement trois navires vikings bien préservés en Norvège, mis au jour il y a longtemps. Pour en apprendre davantage sur ce peuple, nous avons besoin d'en découvrir d'autres », déclare Knut Paasche, archéologue et directeur du Norwegian Institute for Cultural Heritage Research (NIKU).

Son équipe a eu la main heureuse en 2018, en « balayant » à l'aide d'un géoradar un site à quelques kilomètres de la ville d'Oslo. Conçu en partenariat avec un institut spécialisé dans les nouvelles technologies archéologiques, le géoradar motorisé est muni d'un GPS et d'antennes qui envoient des signaux à travers les différentes couches du sol. De quoi effectuer une sorte d'échographie du sol, en somme.

Le site sur lequel ils ont jeté leur dévolu était prometteur. On a déjà exhumé des artefacts comme des épées et des bijoux sur ce bout de terre appartenant à un cultivateur et sa famille depuis 300 ans, mais les experts de la région croyaient que les activités agricoles avaient détruit toute trace de présence viking.

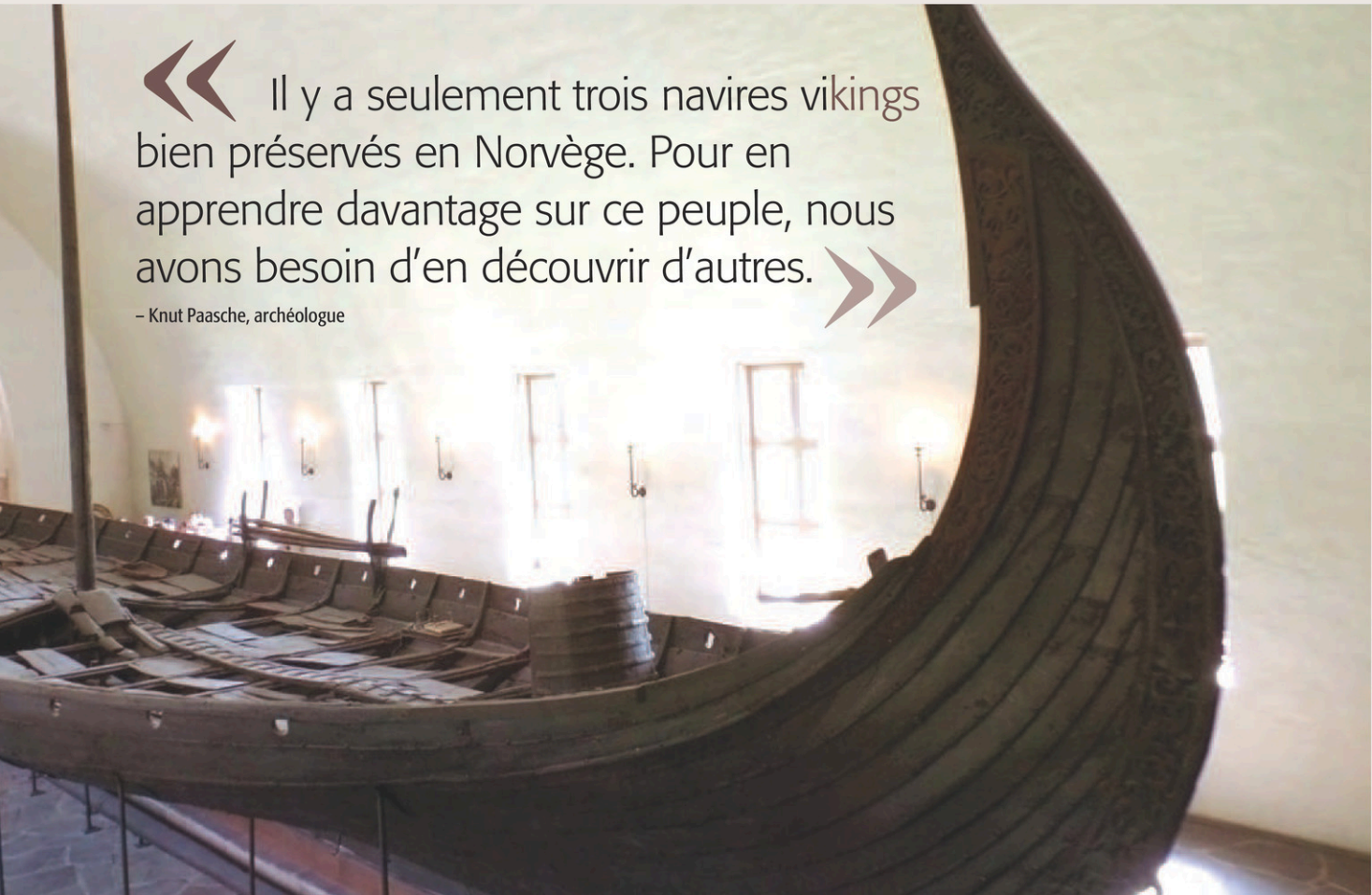
Ce qu'ils trouvent alors va au-delà de leurs attentes : huit sépultures et cinq habitations longues sont révélées, mais aussi un grand navire de 20 m de long qui se cache sous à peine 50 cm de terre. Celui-ci est-il en bon état ? Les images indiquent que la partie inférieure du bateau serait bien conservée et, selon les premières estimations, le drakkar aurait été construit entre les années 800 et 1000.

L'excavation risque d'être délicate. « La machinerie utilisée en temps normal peut détruire des éléments aux alentours. Voilà pourquoi nous préférons employer des méthodes géophysiques, moins invasives, pour faire des recherches », dit le directeur du NIKU. Le groupe collectera ainsi d'autres données géophysiques, à l'aide entre autres de la magnéto-métrie et de la prospection électrique du sol, au



« Il y a seulement trois navires vikings bien préservés en Norvège. Pour en apprendre davantage sur ce peuple, nous avons besoin d'en découvrir d'autres. »

– Knut Paasche, archéologue



L'Oseberg, construit dans les années 800, a été découvert en 1904 en Norvège. Dans ce bateau très bien conservé, on a notamment découvert les squelettes de deux femmes.

cours de l'été pour mieux comprendre ce qui est en dessous et être prêt au moment des fouilles archéologiques.

« La géophysique nous permet de voir les trous laissés par les poteaux de maison, la cheminée, l'emplacement des lits, etc. Les seules choses que nous ne pouvons observer sont les artefacts près du sol », souligne Knut Paasche.

Quant au bateau, « si tous les clous sont au bon endroit, nous aurons assez d'informations à son sujet pour le reconstruire, même si le bois a complètement disparu, en utilisant l'empreinte imprimée dans le sol », estime le directeur du NIKU. Lui et d'autres membres de son équipe s'affaireront donc à en bâtir une réplique. Enthousiaste, il assure que peu importe l'état du navire, il s'agit d'une découverte inestimable.

Sur quelles mers ce bateau a-t-il vogué ? On ne le saura jamais, mais il a probablement vécu son lot d'aventures. « Les Vikings portaient en expédition

pour s'enrichir », signale Anne-Gaëlle Weber, doctorante en histoire médiévale à l'Université du Québec à Montréal et chargée du cours *L'aventure scandinave, des Vikings aux Normands*. « S'il fallait choisir les objets qui les caractérisent le mieux, je dirais que c'est la hache, pour le combat, et la balance, pour peser le poids de métaux précieux », ajoute-t-elle.

Il y a quelques années, l'exploration d'anciens vestiges cachés à trois mètres sous la ville de Ribe, au Danemark, a confirmé qu'ils étaient bien plus que de violents pilleurs. Ils étaient d'habiles commerçants, des artisans, des aubergistes et des ouvriers. Dans cette cité, des archéologues danois ont trouvé des milliers d'artefacts datant du début du 8^e siècle : perles, amulettes, peignes, os, etc. Les Vikings entretenaient de nombreux réseaux d'échanges, puisque les perles de verre retrouvées viennent du Moyen-Orient.

Et ils soignaient leur image. « Ils aimaient le clinquant ! » s'exclame Michele Hayeur Smith, qui est également spécialiste des textiles anciens. Les tissus qu'utilisaient les Vikings étaient colorés et constitués d'une variété de tissages. Ils servaient aussi de monnaie d'échange au même titre que le beurre ou le poisson. « Les Vikings possédaient en outre des bracelets d'argent qu'ils coupaient et pesaient pour payer, explique l'archéologue canadienne. Ils étaient exubérants dans leurs goûts vestimentaires et leur choix de textiles. Mais à partir du 12^e siècle environ, les tissus deviennent extrêmement monotones et sont très uniformes. » Ce changement coïnciderait avec la période à laquelle les Vikings se convertissent au christianisme. Sous l'influence de la religion, ainsi que de plusieurs autres facteurs, les Vikings se sont amalgamés au reste de la société, mettant ainsi un terme à leur épopée. 05



LA GENÈSE

DE LA CHASSE AUX EXOPLANÈTES

Jusqu'à la découverte officielle de la première exoplanète en 1995, la traque de ces mondes lointains était un sujet marginal, voire tabou. Un désintérêt qui paraît très surprenant, avec le recul.

PAR SYLVAIN LUMBROSO
ILLUSTRATION : DUSHAN MILIC

En montant sur l'estrade le 6 octobre 1995 à Florence, Michel Mayor ne mesure pas encore l'onde de choc que va provoquer son annonce. Cet astrophysicien de l'Université de Genève vient de découvrir la première planète qui gravite autour d'une étoile active autre que le Soleil – baptisée 51 Pegasi b. La nouvelle se propage rapidement et bouleverse en très peu de temps le paysage de l'astrophysique. La traque est lancée : les universités et les agences spatiales du monde entier commencent à investir des sommes considérables pour inscrire des exoplanètes à leur tableau de chasse. Presque 25 ans plus tard, on en compte environ 4 000 et le nombre augmente significativement tous les mois.

Pourtant, la recherche de planètes extrasolaires s'est longtemps déroulée en marge de l'astronomie, voire dans un climat de mépris. Avant 1995, seules trois équipes cherchaient à mettre au jour les compagnons des étoiles lointaines, contre des centaines aujourd'hui!

Marquée par une série d'annonces avortées, la traque des exoplanètes a souffert d'un manque de crédibilité. « Il faut quand même se rappeler que de fausses découvertes d'exoplanètes ont contribué à refroidir la communauté scientifique dans les années 1970 », souligne Danielle Briot, astronome à l'Observatoire de Paris, passionnée par l'histoire de sa discipline. Le ratage le plus spectaculaire est sans conteste celui de Peter Van de Kamp. Cet

astronome hollandais a publié avec fracas en 1969 le relevé de deux planètes autour de notre voisine, l'étoile de Barnard. Mais l'emballement autour de cette annonce a eu un effet désastreux, à peine quatre ans après. Une équipe d'astronomes chevronnés montre alors du doigt que le signal correspond en fait aux périodes de nettoyage de la lentille du télescope utilisé par Peter Van de Kamp. Les premières planètes ne sont que de vulgaires illusions optiques causées par le passage d'un chiffon! La chute est dure et hantera longtemps les astrophysiciens chasseurs de planètes.

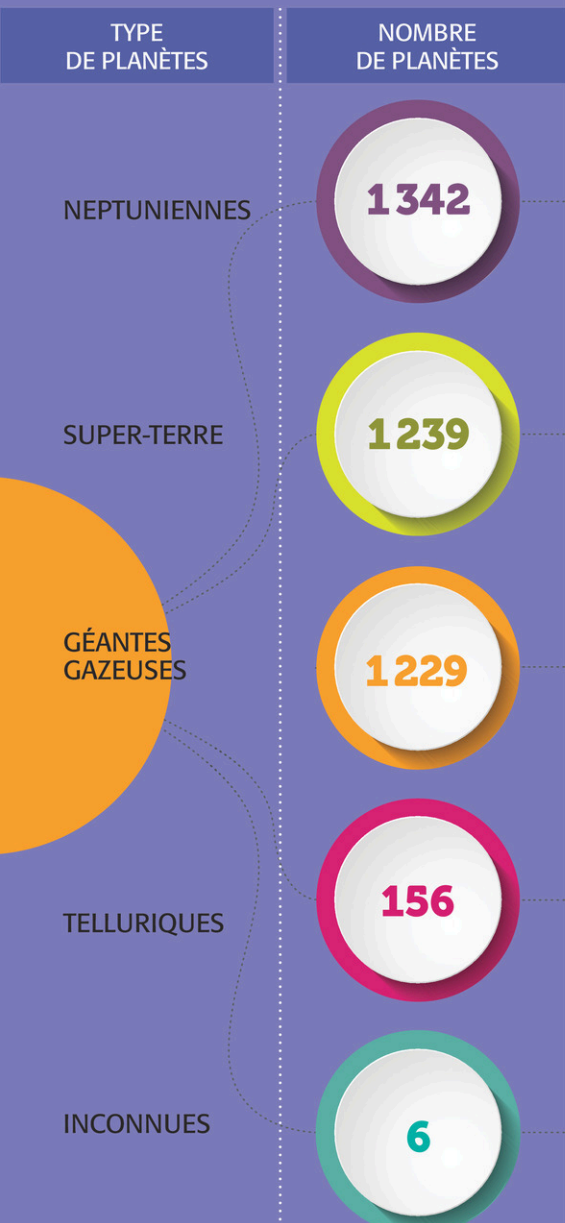
UNE THÉORIE CATASTROPHIQUE

Michaël Gillon est bien conscient que sa discipline revient de loin. Pendant longtemps, l'idée même de l'existence de planètes extrasolaires paraissait inconcevable. « Au début du 20^e siècle, nous pensions que le système solaire était le résultat d'une catastrophe improbable », nous mentionnait ce chercheur de l'Institut d'astrophysique et de géophysique de l'Université de Liège, en Belgique, au cours d'un passage à Montréal l'hiver dernier. Une des théories très répandues à l'époque était celle d'un accident spatial, imaginé en 1905 par le géologue américain Thomas C. Chamberlin. Selon lui, une étoile avait arraché de la matière au Soleil en passant près de lui. Les débris se seraient alors agrégés pour former la Terre et les corps célestes qui nous entourent. « Ce genre de collision entre étoiles est tellement rare qu'il semblait illusoire de

OÙ EN EST LA TRAQUE AUX EXOPLANÈTES ?

3972

EXOPLANÈTES CONFIRMÉES



Ce tableau indique le nombre actuel de planètes connues au-delà de notre système solaire, classées par types. Leur découverte a été validée par de multiples observations. SOURCE : NASA, 10 JUIN 2019.

IMAGES: SHUTTERSTOCK

trouver des exoplanètes», indique avec un brin d'ironie Michaël Gillon, qui a plus de 100 planètes extrasolaires révélées à son actif.

Au milieu du siècle dernier, le modèle d'un nuage de gaz primordial, qui engendre une étoile et des planètes, finit toutefois par reprendre ses droits. Cette idée ancienne, formulée par le philosophe Emmanuel Kant, explique mieux la vitesse de rotation du Soleil ou la présence de corps rocheux notamment. Avec ce retour en grâce d'une vieille notion, l'existence d'autres planètes à travers la galaxie redevient possible.

Mais l'idée semble invérifiable. Détecter de telles planètes demande des capacités techniques de pointe, classées « hors de portée » par la communauté scientifique du moment. Dans la lumière éclatante d'une étoile, ces objets, minuscules par comparaison, sont indétectables, même avec les télescopes les plus puissants. Certains sont toutefois persuadés qu'on peut « deviner » leur présence indirectement. Pour échapper au scepticisme des collègues, ces chercheurs audacieux réservent leurs hypothèses aux revues grand public. C'est dans cette atmosphère que le Marseillais David Belorizky osera évoquer pour la première fois, en 1938, une méthode pour traquer des exoplanètes. Dans le magazine *L'astronomie*, il soutient qu'il doit être possible de déceler la baisse de luminosité d'une étoile, même lointaine, si des objets en orbite passent régulièrement devant elle. Cette proposition avant-gardiste restera seulement connue des amateurs de la Société d'astronomie française, abonnés à la revue. « Pourtant, David Belorizky avait vu juste ! » exulte Danielle Briot, qui adore exhumer la mémoire des pionniers délaissés. C'est d'ailleurs cette méthode (dite des transits), réhabilitée depuis, qui a permis de repérer plus de 75 % des exoplanètes connues.

C'est toutefois une autre technique (dite des vitesses radiales) qui sera à l'origine de la découverte de Michel Mayor en 1995. Chose surprenante, elle aussi avait été théorisée bien avant, soit 40 ans plus tôt, par Otto Struve, un scientifique russe immigré aux États-Unis, indique Danielle Briot. « La méfiance à l'égard de la discipline n'a épargné personne, pas même les chercheurs bien établis », affirme-t-elle. En 1952, Otto Struve publie un article qui propose de mesurer le léger mouvement

des étoiles provoqué par la rotation de leurs planètes. L'article passe inaperçu et aucune équipe n'essaie de construire le dispositif suggéré par le chercheur russe. Il faudra attendre les années 1980 et un progrès technique venu du Canada pour rallumer la mèche dans l'esprit des astronomes.

LE CANADA PARMIS LES PIONNIERS


L'Université de Victoria, en Colombie-Britannique, vient alors de mettre au point un équipement pour numériser et analyser la lumière des étoiles. L'un de ses professeurs d'astrophysique, Gordon Walker, est emballé par cette innovation. « Tout à coup, j'ai pris conscience que c'était possible de mesurer les toutes petites déviations des étoiles causées par leurs planètes », se souvient-il. Malheureusement il n'obtient que quelques nuits d'observation au fil des ans sur un télescope à Hawaii pour tester le nouveau matériel. « C'était tellement difficile de convaincre nos collègues ! La plupart considérait que la recherche des exoplanètes était une distraction et ne faisait pas partie de l'astronomie professionnelle », regrette Gordon Walker. Son équipe ne renonce pas pour autant, même s'il faut rester éveillé pendant les nuits d'observation. La précision exigée pour détecter les planètes est tellement grande qu'il faut en outre faire passer la lumière des étoiles dans des cellules spéciales contenant du gaz afin de ne pas se laisser berner par les petites variations terrestres des instruments de mesure. « C'était très délicat, car nous utilisions du fluorure d'hydrogène, un gaz mortel qu'il fallait manipuler à la main », précise le professeur de Victoria.

Après plus de 10 ans d'observation, la liste des étoiles candidates se restreint, car aucun signal clair n'est enregistré. En 1987, le Canadien fait une première annonce autour de Gamma Cephei, une étoile visible dans le ciel à 45 années-lumière de la Terre. Finalement, il se rétracte rapidement dans *Nature*, car un collègue lui serine que le signal n'est qu'une perturbation interne de l'étoile. Malgré tout, le domaine qui compte une poignée de chercheurs spécialisés commence à frémir.

Les alertes se poursuivent, mais aucune n'est assez décisive pour lancer la discipline. Pire, elles jettent carrément un doute sur l'existence d'autres planètes

semblables à celles qui nous entourent. En 1989, l'Américain Dave Latham proclame la découverte d'un objet étrange, probablement une naine brune, qui par définition n'est ni une planète ni une étoile. La révélation suivante est encore plus énigmatique, car elle remet en cause de nombreuses théories. Deux chercheurs, dont le Canadien Dale Frail, dévoilent en 1992 la bagatelle de deux compagnons rocheux orbitant autour d'un pulsar, le résidu de l'explosion d'une étoile. Paradoxalement, cette prouesse est à peine relevée par la communauté scientifique. Avec le recul, le très secret Dale Frail nous livre une première explication en exclusivité. « Nous n'avons pas diffusé largement notre découverte. Je venais d'entamer ma carrière et je ne voulais pas être catalogué comme l'homme qui avait gagné à la loterie! » Gordon Walker, qui était à ce moment aux premières loges, livre l'autre partie du récit : « Tout le monde souhaitait la découverte de l'équivalent du système solaire, pas celle de planètes autour d'une étoile morte qui a explosé. J'ai toujours trouvé cela ridicule, mais en fait, l'humain cherche uniquement ce qui lui ressemble. Ce biais dans notre approche a longtemps freiné la discipline. »

Ce n'est pas le cas de Michel Mayor, qui s'écarte volontiers des ornières pour laisser son équipe explorer des zones improbables. Grâce à une technique mise au point par l'opticien français André Baranne, les Européens observent le voisinage très proche de 51 Pegasi pour y localiser une géante gazeuse qui en fait le tour en seulement 4,2 jours. « Cette découverte a tout bouleversé, à commencer par ma carrière! » explique René Doyon, un astronome québécois renommé. Avant 1995, son sujet principal de recherche était des objets très lointains, au-delà de la Voie lactée. « Après la découverte de Michel Mayor, nous nous sommes mis à utiliser notre expertise en matière d'imagerie pour trouver des planètes beaucoup plus proches de nous », commente celui qui dirige l'Institut de recherche sur les exoplanètes de l'Université de Montréal. En visitant ses locaux, il est facile de mesurer ce bouleversement. Les moyens sont là désormais, et la traque s'est prodigieusement développée. Une photo d'exoplanètes a même été réalisée pour la première fois par l'équipe montréalaise de René Doyon en 2008. Des milliards de dollars sont injectés pour construire des instruments comme les télescopes *Kepler* ou TESS, envoyés dans l'espace pour capturer de nouvelles candidates.

Une dernière ombre gâche tout de même ce beau tableau : les pionniers des exoplanètes n'ont toujours pas reçu le prix Nobel. « Trouver des systèmes planétaires n'est peut-être pas quelque chose qui relève de la physique fondamentale, spécule René Doyon. Je trouve cela tellement dommage, car c'est un chemin essentiel pour la quête de la vie extraterrestre! » 



MICROPROGRAMME DE 2^e CYCLE EN COMMUNICATION ET JOURNALISME SCIENTIFIQUES

Chaire de journalisme scientifique Bell Globemedia - Université Laval

Apprenez l'essentiel de la communication et du journalisme scientifiques en trois cours, à distance et à temps partiel, avec notre microprogramme de 2^e cycle.



ADMISSION | Automne 2019

AUTOMNE 2019
Communication scientifique
(COM-6060)

HIVER 2020
Journalisme scientifique
(COM-6061)

Sciences et grands défis
de l'humanité
(GSC-6000)

EN SAVOIR PLUS | Arnaud Anciaux, directeur du programme
418 656-2131, poste 404843 | arnaud.anciaux@com.ulaval.ca



BALADO

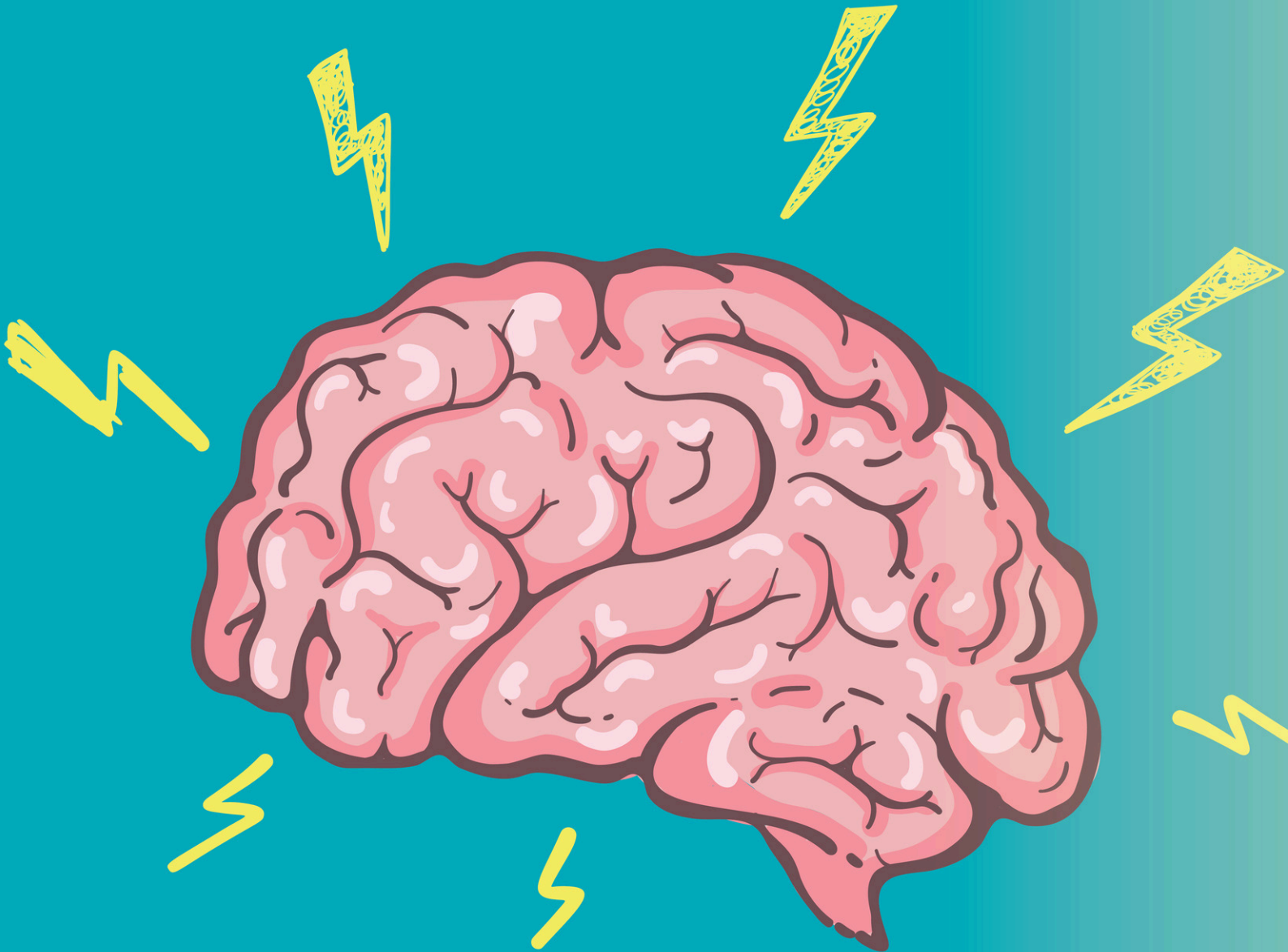
Prolongez cette enquête sur notre site Web avec notre nouveau balado *Exoplanètes : le Canada, de l'ombre à la lumière*.

Apprenez comment la science nationale est passée à côté de la grande découverte, de la voix même de ses chercheurs : Gordon Walker, Dale Frail et René Doyon.

Faculté des lettres et
des sciences humaines



BRANCHER SON CERVEAU, POUR LE MEILLEUR OU POUR LE PIRE ?



Apprendre rapidement une nouvelle langue, améliorer ses performances sportives, repousser la fatigue : un faible courant électrique appliqué sur la tête permettrait tout cela et même plus. Vraiment ?

PAR MAXIME BILODEAU

Le procédé relève du jeu d'enfant. Il faut d'abord placer deux éponges imbibées de solution saline sur son cuir chevelu. Puis, à l'aide d'un câble électrique, on relie ces deux électrodes, une anode et une cathode, à une source d'électricité, comme une simple pile de neuf volts. On active l'interrupteur et voilà : un courant électrique à peine perceptible – de 1 à 2 milliampères, contre environ 900 pour les tristement célèbres « électrochocs » de *Vol au-dessus d'un nid de coucou* – circule dans les régions ciblées du cerveau, y modifiant au passage l'excitabilité neuronale et la capacité de former de nouvelles synapses.

Fabriquer un tel dispositif à la maison coûte tout au plus quelques dizaines de dollars, soulignent de nombreuses vidéos sur YouTube consacrées à la question. Sur Reddit, une communauté de 11 700 adeptes fait aussi l'apologie de cette forme peu banale de neuromodulation : la stimulation transcrânienne à courant continu ou STCC. Sur ces forums, on échange à propos des vertus thérapeutiques qui lui sont prêtées – autisme, douleurs chroniques, dépression, tout y passe – et l'on partage des conseils sur les meilleures manières d'en tirer parti. L'efficacité même de la technique y est rarement remise en question.

IMAGE: SHUTTERSTOCK

Ces dernières années, plusieurs jeunes entreprises se sont mises à proposer des appareils de stimulation cérébrale pour doper ses neurones dans le confort de son salon. Halo Neuroscience, par exemple, a conçu un casque à l'allure futuriste qui excite le cortex moteur d'athlètes à la recherche de meilleures performances, parmi lesquels figurent les joueurs de baseball des Giants de San Francisco. Le dispositif de l'entreprise britannique Neurovalens, le Modius, faciliterait quant à lui la perte de poids en activant l'hypothalamus et le tronc cérébral, ce qui réduirait les fringales. Le prix de tels gadgets : tout au plus quelques centaines de dollars, livraison incluse !

La STCC n'est pas la seule technique de neuromodulation, mais c'est de loin la plus commode. Pas besoin d'ouvrir la boîte crânienne pour y implanter chirurgicalement des électrodes reliées à un boîtier, comme c'est le cas avec la stimulation cérébrale profonde. Surtout, il n'est pas nécessaire de se déplacer dans un laboratoire pour en bénéficier. Contrairement à la stimulation magnétique transcrânienne, qui consiste à appliquer une impulsion magnétique à travers le crâne afin de stimuler certaines régions du cortex cérébral, les appareils de STCC sont légers, compacts et simples d'utilisation.

L'idée d'utiliser l'électricité pour agir sur le cerveau existe depuis des siècles :

les Grecs et les Romains de l'Antiquité connaissaient les vertus médicales des poissons électriques, comme la torpille, qu'ils plaçaient directement sur le cuir chevelu pour stimuler le cerveau. C'est en l'an 2000 que les premiers travaux modernes sur la STCC ont été publiés, dans les pages du *Journal of Physiology*. Les chercheurs, des Allemands, y font état d'une hausse de l'excitabilité cérébrale de 40 % dans certaines zones du cerveau à la suite de son application. L'industrie a flairé la bonne affaire : le marché mondial des neurotechnologies destinées au consommateur – qui, du reste, ne se limitent pas à la STCC – représentera trois milliards de dollars américains d'ici 2020.

UNE RÉGLEMENTATION FLOUE

Cet engouement n'est pas sans inquiéter la communauté scientifique. Dans un article paru plus tôt cette année dans la revue *Science*, le professeur de l'Université de la Colombie-Britannique Peter Reiner déplore l'absence de surveillance de la part des agences de santé publique, comme Santé Canada et la Food and Drug Administration aux États-Unis. Ainsi, les compagnies qui commercialisent des appareils de STCC en Amérique du Nord n'ont pas à prouver l'innocuité de leurs produits tant que leurs promesses restent vagues. «Elles vont parler d'amélioration du bien-être et de l'humeur générale, sans plus. En ce sens, elles contournent la réglementation et n'ont de comptes à rendre à personne», explique le neuroéthicien en entrevue.

À la défense des autorités sanitaires, les données qui concluent à la dangerosité de la STCC sont anecdotiques, voire inexistantes. Outre les brûlures de faible importance causées par l'application fréquente de courants électriques sur la peau et les maux de tête aussi bénins que passagers, la STCC n'occasionne pas d'effets secondaires. Rien qui mérite en tout cas d'accaparer les ressources d'agences gouvernementales, qui ont bien d'autres chats à fouetter.

L'absence de preuves formelles d'effets à long terme découlant d'un usage répété de la STCC ne signifie toutefois pas qu'ils n'existent pas. «On ignore ce que 5, 10, 15 ans de STCC laissent comme traces dans le cerveau. Or, au lieu d'appliquer le

principe de précaution, on ferme les yeux et l'on se contente du statu quo», déplore Peter Reiner, qui plaide pour la mise sur pied d'un comité d'experts qui agirait un peu comme un chien de garde quant à ces questions afin d'éviter tout dérapage.

Vince Clark, professeur à l'Université du Nouveau-Mexique et spécialiste de la neuromodulation, se fait plus rassurant. Sans nier les risques potentiels pour la santé qui guettent les consommateurs crédules, il en minimise la gravité. «S'il y en a, on finira par le savoir tôt ou tard. À ma connaissance, les cabinets de médecins ne sont pas envahis par des adeptes de STCC aux prises avec des problèmes neurologiques...», fait-il remarquer.

Il reconnaît cependant que ces mêmes amateurs font preuve d'un optimisme démesuré à l'égard d'une technologie qui n'a pas encore fait ses preuves.

« On ne peut pas se fier uniquement aux actions et émotions des participants pour confirmer l'efficacité de la STCC. »

– Shirley Fecteau,
professeure à l'Université Laval

DES POSSIBILITÉS INFINIES

Troubles de l'humeur, rééducation à la suite d'un accident cérébral vasculaire, alcoolisme, stress post-traumatique : les usages médicaux possibles de la STCC sont multiples. Depuis 2015, il se publie annuellement au-delà de 600 études sur le sujet.

Difficile néanmoins d'accorder la même crédibilité à l'ensemble de ces recherches sur la STCC tant les protocoles diffèrent. Shirley Fecteau, professeure à l'Université Laval et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en neuroplasticité cognitive, donne l'exemple de la cessation tabagique, un de ses nombreux champs d'intérêt. «On sait que le tabagisme implique des processus cognitifs comme l'impulsivité. Nous stimulons donc les régions cérébrales activées pendant les épisodes de forte envie de consommation», résume-t-elle.

Plus simple à dire qu'à faire, car les variables sur lesquelles intervenir sont infinies. Elles vont du nombre d'électrodes (de deux à plusieurs dizaines) à leur mise en place en passant par le type de courant (alternatif, pulsé, continu...), sa polarité (sens du courant), mais aussi les dispositions propres aux fumeurs. «Applique-t-on la STCC avant que le participant ait fumé ou après ? Le prive-t-on plutôt complètement de cigarettes ? Intervient-on le matin, le midi, le soir ? autour des repas ? » énumère-t-elle.

Plus fondamental encore : un doute persiste quant à l'efficacité même du traitement. Dans une étude parue l'année dernière dans la revue *Nature*, une équipe hongro-américaine rapporte qu'environ 75 % du courant électrique appliqué sur le cuir chevelu de cadavres animaux et humains est dissipé par les tissus mous et l'os du crâne. Faites le calcul : seul de 0,25 à 0,50 milliampère atteindrait réellement le cerveau, une intensité ridiculement basse. Ces mêmes chercheurs estiment qu'au moins 4 milliampères – l'équivalent de la décharge d'un pistolet à impulsion électrique – seraient nécessaires pour stimuler les neurones et produire un quelconque effet dans le cerveau.

Ces résultats ont fait réagir quelques scientifiques, dont Vincent Walsh, de la University College de Londres, qui a qualifié la recherche sur la STCC « d'océan de bêtises et de mauvaise science ». Les quelques méta-analyses publiées sur le sujet lui donnent en partie raison : plusieurs sont pour le moins mitigées, faisant état de faibles preuves de son efficacité.



Shirley Fecteau, titulaire de la Chaire de recherche du Canada en neuroplasticité cognitive, utilise la neuro-imagerie pour observer en temps réel l'effet de la STCC sur les régions du cerveau concernées.

SÉPARER LE BON GRAIN DE L'IVRAIE

Si le doute plane, ce n'est manifestement pas dans l'esprit de Vince Clark. Il n'est pas surpris par la médiocrité de plusieurs études sur la STCC, qu'il impute en grande partie à l'amateurisme des équipes qui les ont menées. « Le but de toute science est d'établir des liens de cause à effet en contrôlant toutes les variables d'une expérience, ce que ces chercheurs peinent à faire. C'est vrai dans tous les domaines scientifiques », fait-il remarquer. Même réaction de la part de Shirley Fecteau, qui attribue la grande popularité de cette technique auprès de la communauté scientifique à sa polyvalence et à son accessibilité. « Ce n'est pas tout de s'équiper et de s'improviser expert du cerveau. Encore faut-il posséder le bagage de connaissances nécessaire pour mettre au point une méthodologie rigoureuse », déclare-t-elle.

C'est ce qui explique pourquoi elle recourt systématiquement à la neuro-imagerie, comme l'imagerie par résonance magnétique, dans le cadre des travaux qu'elle effectue dans son laboratoire. Le but : observer en temps réel l'effet de la STCC sur les régions du cerveau concernées. « Cela nous permet de nous

assurer de l'exactitude des paramètres de neuromodulation au regard des changements dans la manière de fonctionner du cerveau. On peut dès lors faire des liens avec les comportements observés et ainsi renforcer les liens de causalité », analyse-t-elle.

Bien que fondamentale, cette étape de validation était une chose impossible du point de vue technique il y a encore quelques années. « On ne peut pas se fier uniquement aux actions et émotions des participants pour confirmer l'efficacité de la STCC, un biais qu'on voit encore de manière fréquente », rappelle Shirley Fecteau.

Mais de tout ça, les adeptes de la STCC n'ont cure, comme en témoignent leurs discussions troublantes sur Reddit. Un homme qui souffre d'un trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité s'y fait par exemple conseiller divers montages d'électrodes. Un autre cherche plutôt des recommandations pour mettre fin à ses épisodes d'extrême colère. Parfois, les échanges sont carrément surréalistes. « Quelqu'un a-t-il déjà soigné ses problèmes de libido avec la STCC ? » demande le plus sincèrement du monde un internaute. Et devinez quoi : des mains se lèvent dans l'assistance virtuelle... 🗣️

QUI SONT LES ADEPTES DE LA STCC ?

Qui sont les mordus de stimulation transcrânienne à courant continu ? Une équipe de l'Université de Pennsylvanie en a brossé le portrait dans une rare étude publiée l'année dernière dans les pages du *Journal of Cognitive Enhancement*. Les chercheurs ont interrogé 339 membres du grand public, majoritairement des Nord-Américains, ayant acheté un appareil destiné aux particuliers. Si la plupart sont des hommes, les adeptes sont néanmoins plus âgés qu'on pourrait le croire (45 ans en moyenne) et occupent une position élevée dans l'échelle sociale. Près des trois quarts d'entre eux se sont tournés vers cette technologie pour accroître leurs facultés cognitives ; 40 % l'ont plutôt choisie pour traiter un trouble quelconque, comme la dépression. Quatre participants sur 10 s'en sont lassés après un certain temps, principalement par manque d'efficacité perçue et par absence de supervision appropriée. Fait à noter : 8,4 % des répondants à cette enquête ont rapporté avoir recouru à leur appareil à plus de 100 reprises.

POUR QUE LE ROUGE PASSE AU VERT

Est-il possible de reverdir une ancienne mine de fer isolée de tout et condamnée par un climat nordique difficile? Une équipe tente de relever le défi.

PAR MÉLISSA GUILLEMETTE

Léonie Côté ouvre la porte du frigo pour en sortir des champignons cultivés dans des plats en verre. L'étudiante de l'Université Laval place de grands espoirs dans ces amas gris, blanchâtres ou bruns originaires des alentours de sites miniers délaissés de Schefferville, à quelque 500 km au nord de Sept-Îles. Ces champignons, qui s'associent naturellement aux racines de plantes, pourraient être le remède nécessaire à la restauration de ces anciennes mines de fer.

Mais puisque les champignons peuvent être soit des alliés ou des parasites des plantes, il fallait d'abord désigner lesquels étaient les «bons». C'est pourquoi 1 000 bouts de racines de différentes plantes du complexe minier ont été mis au frigo dans autant de contenants. «J'ai identifié 106 espèces de champignons et j'ai choisi les plus fréquentes, car elles sont peut-être les plus bénéfiques pour les plantes», explique la jeune femme. Elles peuvent faciliter l'absorption de l'eau et des nutriments par exemple.

Ses neuf champignons «finalistes» ont ensuite été mis en contact avec des résidus miniers de Schefferville pour voir comment ils allaient réagir et pour déterminer lesquels étaient des alliés. «À cause du



La compagnie Iron Ore du Canada a exploité plusieurs hectares de terrain à Schefferville entre 1954 et 1982. Voici l'un des sites, dont l'aspect n'a guère changé depuis cette époque.

À NOTER

Ce reportage porte sur les recherches en vue du reverdissement des sites exploités par l'entreprise TSMC. Au moment de mettre sous presse, nous apprenions que le bilan environnemental de la mine est contesté par le conseil innu de Matimekush-Lac John, communauté voisine de Schefferville, qui s'inquiète du déversement d'eaux rouges suspectes aux alentours d'un site de minerai de fer en exploitation et de la gestion d'un dépotier situé du côté du Labrador. Les autorités fédérales et provinciales surveillent la situation. Nous suivrons ce dossier dans les prochains mois sur notre site Web.

bouleversement du sol, quand une graine germe, elle ne trouve pas nécessairement son champignon qui lui permet de bien croître, dit son professeur, Damase Khasa, du Département des sciences du bois et de la forêt. L'idée est de faire pousser la plantule en serre avec son champignon pour l'aider à bien s'établir quand elle sera transplantée dans la mine. »

Car il faudra qu'elle soit robuste pour tenir bon à Schefferville! Les hectares de terrain perturbé et compacté par la compagnie minière Iron Ore du Canada entre 1954 et 1982 ont essentiellement le même aspect martien qu'à l'époque. Il faut savoir que, jusque dans les années 1990, les entreprises n'étaient pas responsables de la restauration des sites exploités au Québec – des sites qu'on qualifie aujourd'hui d'orphelins.

La compagnie Tata Steel Minerals du Canada (TSMC), qui exploite le fer depuis 2012 dans les mêmes environs, devra quant à elle reverdir le territoire qu'elle aura perturbé et sait que ce ne sera pas aisé sur ce plateau isolé, froid et archi venteux. C'est pourquoi elle finance un projet de recherche et développement depuis trois ans sur un ancien site et sur ses propres exploitations auquel collaborent différentes

équipes, dont celle de Damase Khasa qui est soutenue par le Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies. Voilà qui tombe à point : le gouvernement du Québec commence les premières analyses en vue de la restauration des 11 sites orphelins dont il a la charge.

Comment s'y prendre pour faire jaillir la végétation sur le sol ferreux? La feuille de route est à inventer; il n'y a pas d'exemple québécois à des latitudes aussi élevées duquel s'inspirer. La restauration la plus « nordique » demeure celle de la mine Poirier... à 100 km au nord d'Amos. Et les mines véritablement au nord de la province sont toutes encore en activité.

SOLUTION DURABLE

Par les fenêtres de son bureau, au sous-sol de sa maison de Valcourt, Hugo Thibaudeau Robitaille, cofondateur de la firme T2 Environnement et gestionnaire du projet pour TSMC, pointe les sections de son terrain où il produit des légumes, du bois et du sirop d'érable. La productivité de sa terre n'a rien à voir avec celle du sol rougeâtre qui l'occupe. « Les résidus miniers n'ont aucune matière organique, dit le biologiste. Le but est de les restaurer en intégrant le moins d'intrants [engrais,

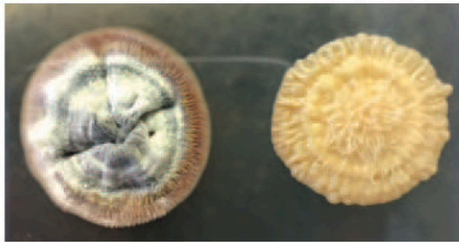
semences ou autres] possible pour que les écosystèmes se bâtissent d'eux-mêmes. »

Surtout que ces intrants devraient venir de loin, par avion ou par train, car les routes ne relient pas le sud de la province et Schefferville. « Et si l'on ajoute des intrants pour faire une belle prairie, le jour où l'on arrête d'en mettre, la productivité tombe. Ce n'est pas durable. »

Le complexe minier a plusieurs visages : non seulement il est tantôt du côté du Labrador, tantôt au Québec, mais il se trouve aussi dans la zone de transition entre la taïga et la toundra arbustive. La première étape du projet a donc été de dresser l'inventaire des végétaux de ce bout de pays, en collaboration avec la firme Viridis Terra Innovations, qui a une expertise en restauration de mines.

Ces deux partenaires ont remarqué que les résidus miniers ne sont pas tous désertés par les végétaux. « Il y a des haldes [ces immenses buttes de résidus] qui sont exemptes de toute végétation, mais il y en a aussi qui ont été colonisées par des plantes, mentionne M. Thibaudeau Robitaille. On a sélectionné cinq espèces pionnières, c'est-à-dire celles qui favorisent le démarrage des écosystèmes. »

Les deux entreprises ont réalisé toutes



LES VÉGÉTAUX PIONNIERS

Épinette noire
Aulne crispé
Bouleau glanduleux
Airelle des marais
Saule planifolié

Ci-dessus, des champignons provenant de Schefferville cultivés en laboratoire par l'étudiante à la maîtrise Léonie Côté, à l'Université Laval. En bas : Daniel Tarte, cofondateur de T2 Environnement, lors d'un suivi des essais sur le terrain, en septembre 2018.



sortes de tests avec ces cinq espèces sur les sites en 2017 et 2018. Elles ont ainsi vérifié l'efficacité de l'hydroensemencement et de différentes façons de planter les boutures ou de remodeler le terrain. Pendant ce temps, les racines des espèces clés avaient fait leur chemin jusqu'à l'Université Laval pour que s'opère l'inventaire des champignons.

« Cet été, on va essayer d'implanter des grappes de végétation pour voir si elles se disséminent. On veut aussi créer un verger de boutures pour le saule [l'une des cinq espèces sélectionnée] parce que c'est fastidieux de les recueillir directement dans la nature », indique Hugo Thibaudeau Robitaille, qui s'amuse comme un petit fou avec ce projet.

Les plantes qui seront utilisées pour les grappes sont celles qui ont grandi dans les serres de l'Université Laval grâce aux soins de Roudy Jean. Dans une vingtaine de bacs bleus remplis de terre rouge, des boutures de saule prennent racine. Elles sont dopées par l'inoculum secret du doctorant : une « soupe » nutritive à laquelle il ajoute les champignons

recommandés par Léonie Côté.

« Je teste trois champignons sur les boutures et j'ai aussi des bacs sans champignon, signale le jeune homme. Je vais ensuite prendre des mesures physiologiques : le taux de photosynthèse et la biomasse », pour comparer l'effet des différents inoculums. Au fond de la serre, ses semis d'aulnes crispés et de bouleaux glanduleux pétants de santé se feront également servir une soupe avant de prendre l'avion et d'être plantés sur le site.

Si les essais sont concluants et que l'industrie manifeste un intérêt pour cette solution, les plants pourraient un jour être cultivés et inoculés dans une pépinière sur place, ouvrant la porte à un nouveau secteur économique pour les communautés locales. Non seulement un grand territoire doit déjà être restauré, mais d'autres sites seront à verdir dans le futur; deux minières sont toujours actives et la quête de gisements se poursuit.

REGARD SUR LE MICROBIOME

Dans un laboratoire du Conseil national de recherches du Canada situé au fond du

quartier industriel de Mont-Royal, Charles Greer nous montre différents séquenceurs, dont le petit dernier, un MinION pas plus gros qu'une barre de chocolat et qui permet des analyses sur le terrain.

Son travail dans le projet consiste à décrire le microbiome des racines pour trouver, un peu comme pour les champignons, les bactéries qui vivent en symbiose avec des plantes des sites. « On s'est intéressés au microbiome à l'extérieur des racines, mais aussi à l'intérieur des racines. Comme les humains, les plantes ont beaucoup de bactéries qui peuvent les protéger, les aider ou leur nuire. »

Pour découvrir tout ce beau monde, « on prend la plante, on coupe les racines qu'on veut utiliser et on les secoue pour enlever le gros de la terre, mime le microbiologiste. Celle qui est encore collée aux racines est celle qu'on veut analyser parce que les bactéries qui sont bénéfiques pour les plantes en sont proches ». Grâce aux séquenceurs, son équipe a pu obtenir l'ADN « total » des échantillons, c'est-à-dire l'ADN mélangé de tous les systèmes biologiques d'un échantillon de terre. Ensuite, il a suffi de comparer l'amas d'informations recueillies avec des banques de données pour désigner les espèces de bactéries qui répondent « présentes »!

Quant aux populations bactériennes à l'intérieur des plants, il a fallu stériliser l'extérieur des racines avant de les broyer pour en extraire, encore une fois, l'ADN total et le décortiquer.

Par la suite, l'équipe de M. Greer a déterminé quelles bactéries se trouvent avec quelles espèces végétales sur des sites miniers et naturels. « On remarque par exemple deux souches communes pour trois sites perturbés. Ça peut signifier qu'elles sont importantes. » Il souhaite concevoir et mettre à l'essai un autre inoculum avec ces « bonnes » bactéries; si tout va bien, ce produit sera testé à la mine à l'été 2020.

Le recours aux organismes vivants pour restaurer des sites miniers est un phénomène encore nouveau, déclare M. Charles Greer, qui travaille depuis plusieurs années à la remise en état de sites d'exploitation de sables bitumineux. « L'industrie minière a moins l'habitude de travailler avec les biotechnologies, sauf pour certaines techniques d'extraction qui font appel aux microbes. »

Une bouture de saule plantée par l'équipe pour un test impliquant un système d'irrigation.



“ C’est la qualité de la terre qui me tracasse. C’est quasiment du sable, et du sable plein de fer. ”

– Mariana Trindade, gestionnaire des questions environnementales à TSMC

QU'EN EST-IL DES SITES ORPHELINS DE SCHEFFERVILLE ?

Le gouvernement du Québec a hérité de 11 sites d'exploitation du fer qui ont été fermés dans les années 1980. L'étude de ces sites répartis sur 15 km commence cet été et devrait se terminer en 2021.

« La caractérisation permet de faire le constat environnemental du site, qui inclut notamment d'évaluer s'il y a présence de drainage minier », explique Sophie Proulx, ingénieure de projet à la Direction de la restauration des sites miniers du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. Ce drainage peut entraîner une lixiviation des métaux, c'est-à-dire que des métaux peuvent se retrouver en trop grande concentration dans l'eau de surface, les sédiments ou l'eau souterraine. S'il s'agit de métaux problématiques, comme des éléments qui pourraient contaminer la chaîne alimentaire, il faudra corriger la situation avant de restaurer les lieux.

Après cette évaluation, les sites seront classés comme prioritaires ou non, par rapport aux autres sites orphelins québécois, ce qui influencera la vitesse d'action sur place. Car au total, Québec doit restaurer 82 sites d'exploitation minière (6 en font actuellement l'objet) et 223 sites d'exploration, selon le dernier bilan, datant de mars 2018. Le ministère a-t-il confiance que des entreprises seront capables de relever le défi ? Les recherches à Schefferville montrent que restaurer un site en milieu nordique et isolé, ce n'est pas de tout repos ! « C'est sûr que notre bassin de consultants n'est pas très grand, dit M^{me} Proulx. Mais il y en a qui ont l'habitude de travailler en milieu reculé, ailleurs dans le monde. On en tiendra compte. »

La restauration des vieux sites est toujours complexe. « On répare des pots cassés il y a 50 ans », rappelle l'ingénieure.

DU SABLE PLEIN DE FER

Mariana Trindade a une vue à la fois sur Montréal et sur Schefferville. Une grande carte couvre une partie d'un mur de son bureau lumineux au 11^e étage d'une tour du centre-ville. La gestionnaire des questions environnementales de TSMC nous propose une visite guidée à vol d'oiseau. « Là, c'est Schefferville ; la ligne pointillée, c'est la route ; et notre site commence ici, au Labrador. Au bout de la route, on revient au Québec et l'on trouve les sites Goodwood et Sunny, dont l'exploitation n'a pas encore commencé. »

La minière a investi quelque 300 000 \$ depuis 2016 dans la recherche en vue de la restauration des lieux et continuera à verser 100 000 \$ annuellement pour

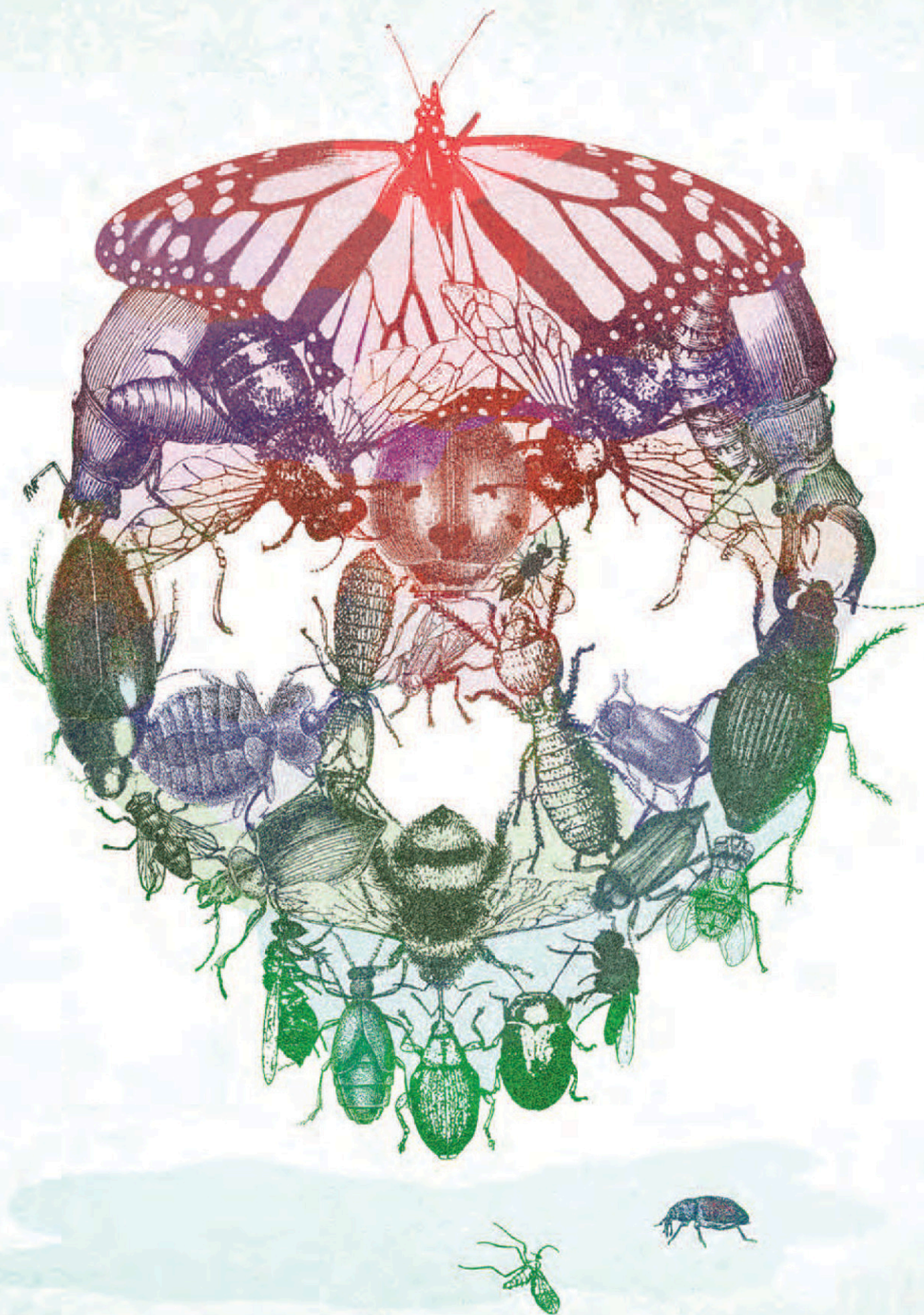
accroître les connaissances qui lui seront utiles dans quelques années, quand elle fermera un premier site. Mariana Trindade espère que la sélection judicieuse des végétaux, du modèle de plantation et des champignons et bactéries suffira à verdir les montagnes rouges, mais elle demeure sceptique. « C'est la qualité de la terre qui me tracasse, avoue-t-elle. C'est quasiment du sable, et du sable plein de fer... »

Elle s'est donc tournée vers Didier Barré, au Conseil national de recherches du Canada. Il commencera bientôt un travail de caractérisation du sol pour établir ce qu'il y manque et ce qui pourrait y être ajouté. « Mais encore une fois, l'idée est d'utiliser ce qui est déjà sur place pour enrichir le sol, dit M^{me} Trindade. Faire du compost n'est pas facile dans la région,

à cause du climat et aussi de la présence d'ours, qui rôdent dans les parages. Mais on pourrait songer à déchiqueter le carton et les palettes de bois pour les ajouter au sol. »

Il faut penser à toutes les possibilités, selon elle. « Les conditions sont tellement hétérogènes qu'on n'arrivera pas à une recette unique. Quand on plante sur une pente pour éviter l'érosion, les résultats peuvent être complètement différents d'un côté à l'autre. Ça va être un travail titanesque », reconnaît-elle.

Cet été, Mariana Trindade prévoit aller sur le terrain avec l'équipe. « Ça demande beaucoup de main-d'œuvre d'un coup. Je serai là comme ouvrière ! » Toutes les paires de bras comptent quand on s'attaque à un monstre de fer. 



LA DÉCHÉANCE DES INSECTES

Dans plusieurs écosystèmes, papillons, abeilles, termites et autres petites bêtes disparaissent à un rythme effarant. Si rien n'est fait, la biodiversité entière risque de dépérir.

PAR ALEXIS RIOPEL

ILLUSTRATION : MARIANNE CHEVALIER

En juillet 1976 et janvier 1977, Brad Lister s'est rendu dans la forêt de Luquillo, à Porto Rico, pour compter tout ce qui avait six pattes. La petite mouche *Baccha clavata*, le coléoptère *Antilliscaris megacephalus*, le termite *Nasutitermes costalis* : en théorie, rien n'échappait à ses pièges placés au sol et suspendus dans la canopée.

Quand il est retourné dans la même forêt 35 ans plus tard, il en a perdu son latin.

« Après quelques jours, c'est devenu assez évident que les choses avaient profondément changé, raconte-t-il. Dans les années 1970, nos pièges collants étaient recouverts d'insectes. Maintenant, ils en étaient essentiellement dépourvus. Il y avait un diptère ici et là, peut-être quelques coléoptères, mais en vérité presque rien. »

« L'équipe s'est demandé s'il ne s'agissait pas de mauvaises journées, poursuit le professeur de biologie du Rensselaer Polytechnic Institute, dans l'État de New York. Mais c'est resté comme ça pendant toute la période d'échantillonnage. Lorsqu'on est revenus dans notre laboratoire aux États-Unis, on a réalisé que la biomasse d'insectes sur les pièges disposés au sol avait diminué de 90 % par rapport aux années 1970, ce qui est sidérant. » Des cam-

pagnes d'échantillonnage supplémentaires l'année suivante ont mené les chercheurs au même constat.

Tragiquement, l'observation d'un déclin dans les populations sauvages d'insectes n'est pas circonscrite à la petite île caribéenne de Porto Rico. Avant que Brad Lister et son collègue Andres Garcia, de l'Université nationale autonome du Mexique, publient leurs résultats dans la prestigieuse revue scientifique *Proceedings of the National Academy of Sciences* en octobre 2018, d'autres indications d'une possible « apocalypse » chez les insectes émergeaient.

C'est une étude conduite en Allemagne qui a véritablement lancé le bal en 2017. Pendant 27 ans, les membres du club amateur d'entomologie de Krefeld ont minutieusement récupéré les insectes volants se prenant les pattes dans des pièges situés à l'un ou l'autre des 63 lieux étudiés dans l'ouest du pays. Leurs données, confiées à des chercheurs néerlandais, ont révélé une diminution de 76 % de la biomasse d'insectes entre 1989 et 2016.

En janvier 2019, un nouveau coup de tonnerre résonne sur la planète insectes. Deux chercheurs basés en Australie ont analysé la littérature et compilé les résultats de 73 articles faisant état d'une décroissance des insectes. Ils concluent

que 40 % des espèces d'insectes sont à risque d'extinction d'ici les prochaines décennies. Bien que certains entomologistes aient plus tard soulevé que cette prévision était précipitée du fait de la piètre couverture géographique des données, l'alarme retentissait et n'allait plus dérouter. Avec les publications des dernières années, « c'est devenu clair que les insectes sont en déclin sur une base planétaire », souffle Brad Lister.

D'autres experts avancent qu'environ 10 % des espèces d'insectes seraient déjà menacées d'extinction, selon une estimation provisoire publiée en mai 2019 dans un vaste rapport de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques, sous la gouverne de l'Organisation des Nations unies.

MAUVAIS DÉBARRAS

À ce jour, environ un million d'espèces d'insectes sont répertoriées sur la planète, mais les entomologistes estiment qu'il en

existerait 5,5 millions. La plupart d'entre elles provoquent chez nous du dégoût, de l'exaspération ou de l'indifférence. Le traitement de ruisseaux avec des bio-insecticides pour éradiquer les moustiques dans des régions de villégiature au Québec illustre notre relation difficile avec les insectes.

Il y a néanmoins des exceptions ! Dans une serre du Jardin botanique de Montréal, au début du printemps, c'est l'émerveillement qu'on peut lire dans les yeux des visiteurs. Comme chaque année, les entomologistes de l'Insectarium ont importé les chrysalides des plus belles espèces du monde pour l'exposition *Papillons en liberté*. La biodiversité, quand elle revêt ses plus beaux habits, attire des foules hautement diversifiées : aînés, étudiants et touristes admirent ou photographient les graciles créatures tandis que Maxim Larrivée nous rejoint.

Ses cheveux virent au gris, la même couleur que son regard qui ne manque pas de remarquer le moindre papillon qui pourrait être écrasé sous sa botte. Ce chercheur de

l'Insectarium est un spécialiste des monarques, ces lépidoptères emblématiques de la fragilité des écosystèmes. Il étudie l'évolution de cette espèce « charismatique », qui reçoit beaucoup d'attention de la part du public et des médias, mais il se porte aussi à la défense des « petites bibittes brunes » qui n'intéressent personne.

« Normalement, lorsqu'on se met à analyser le déclin d'une espèce, c'est parce que sa population a déjà sérieusement diminué, signale-t-il, donnant en exemple la tourte, le monarque et la morue. Ce que l'on constate actuellement, c'est qu'il y a une exacerbation du problème. Mais cela n'a pas commencé il y a 30 ans; cela s'est produit graduellement et remonte à bien plus longtemps. »

Sa plus grande crainte, en étudiant les insectes, est d'écrire la chronique d'une mort annoncée, confie-t-il. « Devrait-on se concentrer tout de suite sur des mécanismes d'adaptation et des mesures d'atténuation qui pourraient, au moins, ralentir le processus ? Les insectes ont





un rôle beaucoup plus grand que de se gaver de notre sang : ils ont une fonction écosystémique considérable», explique-t-il en chassant un papillon venu se poser sur sa tête.

Malgré leur minuscule taille, les insectes portent sur leurs épaules une grande partie des écosystèmes terrestres. Bien entendu, ils sont à la base de la chaîne alimentaire. De nombreux oiseaux, amphibiens, reptiles et petits mammifères s'en nourrissent. Les insectes contribuent également à la dégradation de la matière organique morte. Les termites, par exemple, décomposent une importante fraction du bois mort dans les forêts humides tropicales. Les insectes volants, surtout les abeilles et les bourdons, contribuent par ailleurs à la pollinisation de près de 90 % des plantes à fleurs sauvages.

En outre, les insectes profitent d'une foule de manières plus directes aux humains. D'abord, les trois quarts des cultures céréalières et maraîchères dépendent de la pollinisation par les insectes. Puis, ils font

partie de l'alimentation traditionnelle de plus de deux milliards d'humains – on en dénombre près de 2 000 espèces qui sont consommées. Leur apport en protéines pourrait d'ailleurs être fort utile pour nourrir de façon écologique une population mondiale en pleine croissance. Ils produisent enfin certains matériaux, comme la soie, ou de délicieux aliments, comme le miel.

LES RACINES DU PROBLÈME

Des boisés allemands aux forêts tropicales portoricaines, la diversité et l'abondance des insectes sont sévèrement mises à mal. Une poignée de facteurs – tous attribuables à l'activité humaine – contribuent à ce déclin massif.

Les scientifiques accusent principalement la perte d'habitats naturels, l'utilisation massive de pesticides (comme les néonicotinoïdes « tueurs d'abeilles ») et les changements climatiques. La dose de chacun de ces ingrédients varie d'un pays à l'autre dans ce que Maxim Larrivée appelle « le cocktail des changements globaux ».

En Allemagne par exemple, les lieux échantillonnés par le club entomologique de Krefeld étaient pratiquement tous bordés par des terres agricoles. Les auteurs évoquent d'ailleurs l'intensification de l'agriculture comme la probable cause principale du déclin observé. Leur analyse statistique écarte même la hausse de la température de 0,5 °C pendant la période étudiée. Ce tableau pourrait être typique de l'Europe, où la densité de population est élevée et l'agriculture omniprésente.

À Porto Rico, la situation est tout autre. L'agriculture y est très peu pratiquée, l'économie étant surtout basée sur le tourisme et l'industrie. Par ailleurs, la forêt de Luquillo fait partie d'un territoire protégé depuis 1876. L'analyse statistique des chercheurs a plutôt établi que le déclin des insectes était en grande partie attribuable à l'augmentation de 2 °C des températures maximales quotidiennes entre 1976 et 2012.

Une telle causalité est d'ailleurs parfaitement logique d'un point de vue biologique, dans le contexte de la forêt tropicale. « Les insectes tropicaux ont évolué dans un environnement où les fluctuations de température sont très peu nombreuses,

explique Brad Lister. En conséquence, de petites variations au-dessus de leur température optimale font en sorte qu'ils ne sont plus adaptés au milieu. Leur reproduction en pâtit et leur taux de mortalité augmente. »

Pour l'instant, l'immense majorité des études sur le déclin de populations d'insectes ont été réalisées en Europe ou aux États-Unis (à l'exception notable de celle de Brad Lister, à Porto Rico). Au Québec, aucun suivi de la biomasse des insectes n'a été entrepris de manière systématique dans les dernières décennies, selon Maxim Larrivée et Christian Hébert, chercheur au ministère des Ressources naturelles du Canada. Toutefois, les choses pourraient bientôt changer.

M. Hébert travaille au Service canadien des forêts depuis près de 30 ans. Dans la foulée du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, il a orienté ses travaux sur la biodiversité des insectes, surtout dans la forêt boréale québécoise. La plupart de ses projets de recherche portent sur l'évolution de l'abondance et de la diversité des populations d'insectes dans les forêts ayant subi un stress, comme l'invasion d'un ravageur, une maladie, un incendie ou des vents dévastateurs.

Pour chacun des secteurs endommagés qu'il étudie, le chercheur tend aussi des pièges sur des parcelles où la forêt a été épargnée. Cela lui donne une lecture de l'état « normal » des communautés d'insectes. Or, ces données amassées à simple titre comparatif sont celles qui pourraient maintenant lui permettre de vérifier si les insectes québécois sont victimes d'une hécatombe. « Dès cette année, nous allons retourner prendre des échantillons dans des forêts que nous avons déjà étudiées dans le passé, mentionne-t-il. Cela nous permettra d'obtenir des données rigoureuses pour comparer les communautés d'insectes et leurs abondances relatives. »

Le premier endroit qu'il revisitera se trouve dans le parc national des Grands-Jardins, dans Charlevoix. Christian Hébert étudie cette forêt depuis l'incendie de 1999, qui avait ravagé plus de 5 000 hectares. En 2009, il y avait noté une tendance à la baisse des populations d'insectes dans les

“ Les insectes ont un rôle beaucoup plus grand que de se gaver de notre sang : ils ont une fonction écosystémique considérable. ”

– Maxim Larrivée, chercheur à l'Insectarium de Montréal

Ce graphique présente la biomasse des insectes capturés pour 100 coups de filet dans la forêt de Luquillo, à Porto Rico, par Brad Lister et son équipe. Calculées en milligrammes, ces valeurs sont moyennées sur plusieurs centaines de fauchages dans les hautes herbes à chaque période d'échantillonnage.

SOURCE : « CLIMATE-DRIVEN DECLINES IN ARTHROPOD ABUNDANCE RESTRUCTURE A RAINFOREST FOOD WEB », PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2018.

parcelles épargnées par les flammes par rapport à l'an 2000. « Ce sera intéressant de voir si la tendance se confirme, si l'on atteint un plateau ou bien si la baisse est annulée par une remontée des populations », fait-il valoir.

Selon Christian Hébert, les insectes des forêts boréales québécoises sont probablement exposés à un cocktail moins explosif qu'en Europe, car ils sont situés loin des terres agricoles. Ils sont aussi en mesure de résister à des écarts de température plus importants que leurs cousins des tropiques, simplement du fait que les conditions varient naturellement au fil de l'été.

Dans le sud du Québec, Maxim Larrivée soupçonne que la situation pourrait être plus grave. Comme bien d'autres, il remarque de façon anecdotique que moins d'espèces d'insectes viennent finir leurs jours sur son pare-brise, comparativement aux années 1990. Pour établir un état des lieux plus quantitatif, il collabore à un grand programme de suivi de la biodiversité mis en branle par le gouvernement québécois. À terme, des biologistes doivent visiter 250 cellules d'un rayon d'une quinzaine de kilomètres réparties sur le territoire et y quantifier l'abondance de certaines espèces ciblées. Chacune des cellules englobera un ou deux milieux humides, une zone forestière ou toundrique, un lac et une rivière. Chez les insectes, on s'intéressera aux odonates et aux papillons dans les milieux humides et aux espèces habitant le sol dans les milieux forestiers.

Peu importe la situation actuelle au Québec, aucune région du monde n'est à l'abri d'un appauvrissement de la biodiversité. Et du moment que quelques espèces disparaissent, la résilience du système entier est fragilisée. « Je ne crois pas être alarmiste en disant que nous approchons à toute vitesse du point de non-retour, se désole Brad Lister. Le monde naturel est en train d'imploser autour de nous. »

Mais même si la sixième extinction est bien en marche, il n'est jamais trop tard pour changer nos pratiques, fait observer Maxim Larrivée. « L'enjeu de la biodiversité doit nous préoccuper parce que ses répercussions ne seront pas uniquement sur la biosphère, mais aussi sur l'humain à court et moyen terme », dit-il.

La perte de la biodiversité, c'est comme les changements climatiques : on ne sait pas quand ça va déraiper, s'inquiète quant à lui Christian Hébert. « D'un coup, ça peut aller très vite et provoquer des effets catastrophiques. On ne veut pas se rendre là. » Avant d'ajouter une note d'espoir... à l'égard des insectes : « Si ça se trouve, on va disparaître avant eux. »

UN EFFONDREMENT BRUTAL ?

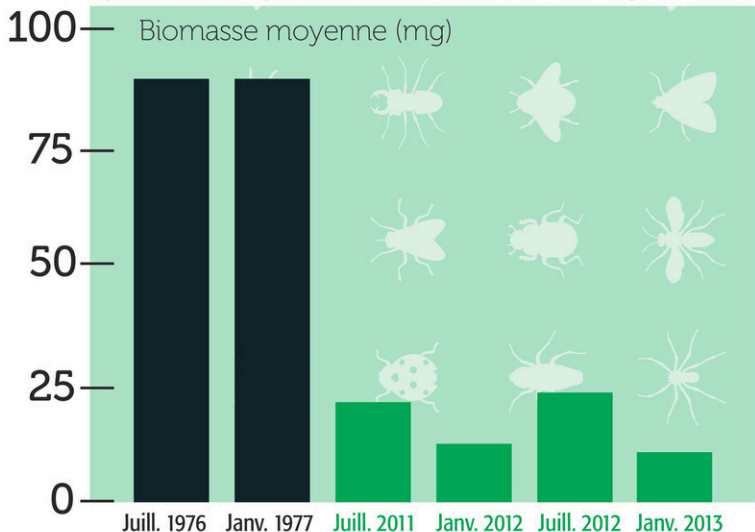


IMAGE: SHUTTERSTOCK

27^e édition **Science on tourne!**
scienceontourne.com

AU QUART DE tour

Félicitations aux gagnants de la finale nationale

Cégep de Sherbrooke
 Nicolas Lambert,
 Anthony Marcotte
 et Olivier Michaud

Un événement du **20 ANS**
 CENTRE DE DÉMONSTRATION EN SCIENCES PHYSIQUES

Pour ne rien manquer de Science, on tourne!, suivez-nous sur [f/scienceontourne](https://www.facebook.com/scienceontourne)

L'ÉCRAN SOLAIRE, NOUVEL ENNEMI DES CORAUX ?

Déjà fragilisés par les changements climatiques, les coraux seraient aussi affectés par les résidus d'écrans solaires. Si bien que des États veulent interdire aux baigneurs de s'en badigeonner.

PAR GABRIEL LAURIN

À l'été 2018, Hawaii a annoncé en grande pompe que les écrans solaires les plus communément utilisés ne seront plus les bienvenus sur ses plages dès 2021. Quelques mois plus tard, le petit archipel micronésien des Palaos et la ville

de Key West, en Floride, lui emboîtaient le pas. Une décision qui provoquera sans doute des remous chez les touristes, ce qui importe peu à ces régions : elles veulent préserver leurs récifs coralliens dont la survie, déjà mise en péril par le réchauffement climatique, serait menacée par deux composants typiques des écrans solaires, l'oxybenzone et l'octinoxate.

On soupçonne entre autres que l'oxybenzone entraînerait une hyperossification chez les larves coralliennes. Elles mourraient enfermées dans leur propre squelette. D'autres recherches ont montré que l'oxybenzone, mais aussi d'autres composés présents dans la crème solaire, stimulerait des infections virales dormantes dans les zooxanthelles, ces algues minuscules qui donnent leur couleur aux coraux. Les virus se répliqueraient au point de provoquer l'explosion des algues et le blanchissement des coraux, puis se répandraient dans les eaux environnantes et contamineraient les récifs voisins.

Inquiétant ? À première vue oui. Chaque année, les vacanciers laissent dans leur

LES VACANCIERS LAISSENT

de 6 000 à 14 000
TONNES D'ÉCRAN SOLAIRE
dans les eaux où baignent les coraux.



sillage de 6 000 à 14 000 tonnes d'écran solaire qui polluent les eaux où baignent les coraux, selon les plus récentes estimations des quantités vendues annuellement. La majorité de ces crèmes sont dites « organiques », car elles contiennent des filtres chimiques, comme l'oxybenzone et l'octinoxate, qui vont absorber les rayons UV. Les autres crèmes, dites « minérales », comptent plutôt sur des particules d'oxyde de zinc ou de dioxyde de titane, qui reflètent physiquement les rayons du soleil. Ces dernières ne sont jusqu'à présent pas visées par les interdictions.

Mais il faut dire que les législateurs hawaïens et palaosiens n'ont fondé leur interdiction que sur deux études scientifiques, ce qui a fait bondir Carys Mitchelmore, professeure au centre de science environnementale de l'Université du Maryland. Lorsqu'elle s'est intéressée au projet de loi hawaïen, elle s'attendait à trouver une multitude de recherches qui le justifieraient. « Mais quand j'ai vérifié, il n'y avait rien de plus ! Non seulement les articles publiés sur le sujet étaient vraiment rares, mais les échantillons utilisés par leurs auteurs étaient bien peu nombreux. »

Avec son équipe, elle a donc cherché à mieux documenter la concentration de 13 composants d'écrans solaires

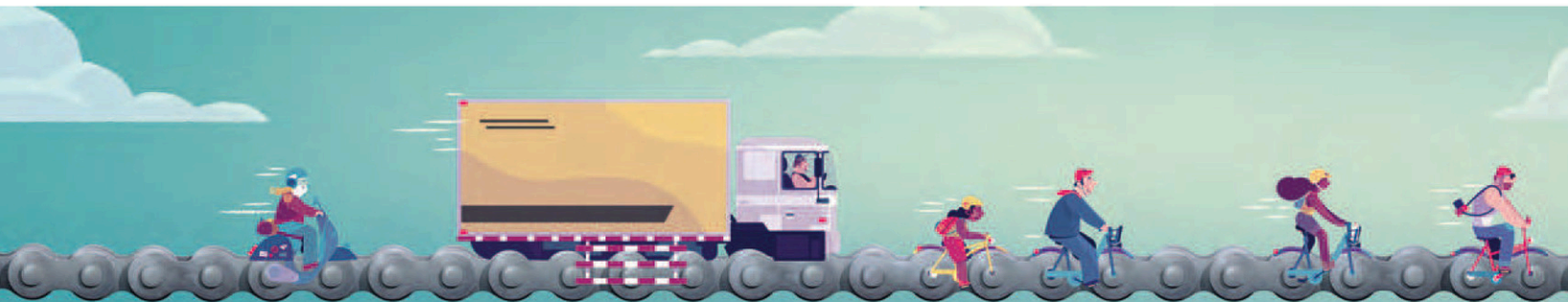
dans les eaux hawaïennes et a prélevé 57 échantillons autour de l'archipel, soit beaucoup plus que les études précédentes. Résultat ? Les concentrations de ces substances étaient généralement très basses et, pour plusieurs échantillons, la quantité était si infime que la chercheuse n'a pu obtenir de mesure exacte. Impossible, donc, de conclure qu'elles endommagent véritablement les coraux ou tout autre organisme.

Carys Mitchelmore déplore du même souffle la manière dont on parle des composants chimiques dans l'environnement. « Dès qu'on apprend qu'une substance a été détectée dans l'eau de mer, on imagine qu'elle cause des dommages. Mais ce n'est pas le cas », spécifie-t-elle. On doit surtout connaître les concentrations de la substance dans l'écosystème avant de déterminer si elle peut nuire ou pas aux organismes qui y vivent. « Tout est toxique ; c'est la concentration qui fait le poison, rappelle-t-elle. Et c'est là que se trouve le décalage entre la perception du public et la réalité. »

L'OCTOCRYLÈNE, UN AUTRE SUSPECT ?

Pendant, en décembre 2018, une étude parue dans le journal *Analytical Chemistry* montrait que l'octocrylène, un autre filtre UV quasi omniprésent dans les

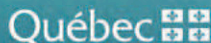
IMAGES: SHUTTERSTOCK



Une initiative de



Réalisée grâce au soutien de



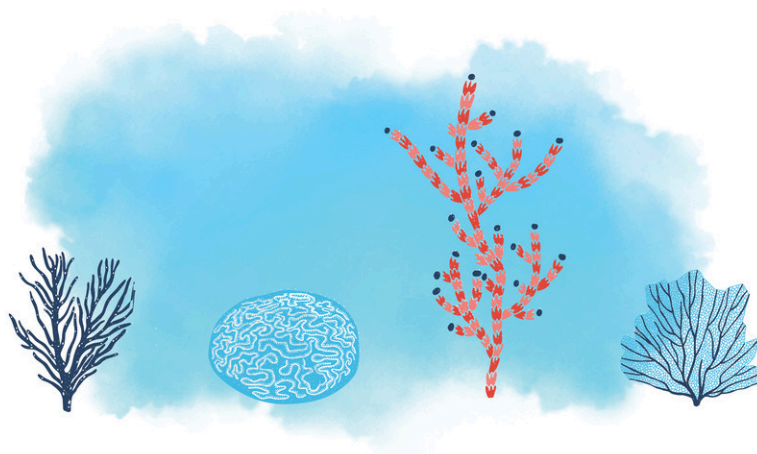
PARTAGELAROUTE.COM

écrans solaires organiques, était lui aussi potentiellement toxique pour les coraux.

En laboratoire, l'octocrylène se transforme en dérivé d'acide gras et s'accumule discrètement dans le corail, altérant les fonctions des cellules. Dans les coraux exposés au produit, les chercheurs ont en effet détecté des taux élevés d'acylcarnitine, « une signature bien spécifique du dysfonctionnement mitochondrial et donc d'un dysfonctionnement du mécanisme de production d'énergie dans la cellule », explique Didier Stien, auteur de l'étude et chercheur au Laboratoire de biodiversité et biotechnologies microbiennes de Banyuls, en France.

Soulignons toutefois que ces effets toxiques se sont manifestés en laboratoire à des concentrations de 50 microgrammes par litre, alors que celles décelées dans l'environnement par d'autres études n'ont jamais dépassé 7 microgrammes par litre, mentionne Didier Stien. Mais ce n'est pas nécessairement une raison de se réjouir. Après tout, son étude ne s'est déroulée que sur une semaine. « Ce qui signifie que, sur des mois d'exposition, il est très vraisemblable qu'en milieu naturel les concentrations d'octocrylène soient suffisantes pour contribuer au déclin des coraux », signale-t-il.

D'autres expériences seront nécessaires avant d'avoir la certitude que l'octocrylène



« Dès qu'on apprend qu'une substance a été détectée dans l'eau de mer, on imagine qu'elle cause des dommages. Mais ce n'est pas le cas. »

– Carys Mitchelmore,
spécialiste en toxicologie aquatique



SUR LA ROUTE, NOTRE SÉCURITÉ EST LIÉE À CELLE DES AUTRES.



IMAGE: SHUTTERSTOCK

UNE PROTECTION À DOUBLE TRANCHANT ?

À en croire certains articles qui circulent chaque été sur les réseaux sociaux, les écrans solaires seraient des concentrés cancérigènes, bourrés de nanoparticules nocives et autres perturbateurs endocriniens. Qu'en disent les experts ?

Dès que le beau temps s'installe, toutes les associations de dermatologues recommandent d'appliquer un écran solaire plusieurs fois par jour. Le hic, c'est que les filtres chimiques utilisés dans les écrans solaires pourraient pénétrer dans la circulation sanguine plus que ce qu'on pensait.

C'est ce qu'indique une petite étude publiée en mai dernier dans le *Journal of American Medical Association*, qui a mesuré les concentrations de quatre filtres chimiques, dont l'octocrylène et l'oxybenzone, dans le sang de volontaires qui avaient appliqué quatre fois par jour pendant quatre jours un écran solaire en lotion ou en vaporisateur. Résultat ? « Les concentrations plasmatiques étaient supérieures au seuil établi par la FDA [l'agence américaine des denrées alimentaires et des médicaments] en deçà duquel les fabricants sont exemptés de certains tests toxicologiques non cliniques. » En d'autres termes, il faudrait peut-être se pencher sur les effets de ces produits sur l'organisme, puisqu'ils passent dans le sang en quantité non négligeable.

La question est d'autant plus pressante que l'oxybenzone pourrait perturber les concentrations d'hormones telles que la testostérone et l'œstrogène, comme le montrent certaines recherches dont une revue de la littérature publiée dans *Reproductive Toxicology* en 2017. Mais ne cédon pas à la panique. Selon Joël Claveau, dermatologue spécialiste du mélanome au CHU de Québec-Université Laval, les résultats de plusieurs analyses s'appliquent mal à l'humain, puisqu'ils ont été obtenus sur des souris ou des poissons.

Ainsi, pour qu'un écran solaire interfère avec les hormones, « il faudrait quasiment s'en badigeonner la peau l'équivalent d'un gallon de peinture ; on aurait alors des doses comparables à ce qui a été testé sur les animaux », mentionne-t-il. Par conséquent, il n'y a probablement aucun danger à utiliser ces crèmes tous les jours. Cependant, gare à une application qui ne respecte pas les indications sur l'emballage, elle pourrait ne pas protéger suffisamment la peau.


La crème pourrait-elle, au contraire, être trop efficace en privant notre épiderme des bienfaits du soleil ? C'est ce que laissent entendre certaines rumeurs, puisque notre peau « se nourrit » des rayons du soleil pour produire de la vitamine D, qui favorise notamment la santé des os. Risque-t-on alors une carence si l'on s'enduit régulièrement d'écran solaire ? La vaste majorité des études montre que ces produits n'ont guère d'effet sur la production de vitamine D, qui ne requiert que peu de rayons UV, dit Antony Young, professeur en photobiologie expérimentale au King's College de Londres. En revanche, il faut une quantité bien plus élevée de ces mêmes rayons pour provoquer un coup de soleil.

S'il y a bien une chose que la science a démontré de manière irréfutable, c'est que 95 % des cancers de la peau sont associés à l'exposition au soleil. Alors, sortez vos tubes d'écran solaire, mais aussi vos chapeaux, des vêtements protégeant des rayons UV et vos parasols !

nuit à la santé des coraux. Il en va de même pour l'oxybenzone et l'octinoxate – même si le verdict est déjà tombé à Hawaï.

Cette précipitation à agir laisse dire à Terry Hughes, chercheur australien spécialiste des coraux, que le haro sur les crèmes solaires n'est qu'un «écran de fumée». La preuve : le dépérissement des récifs coralliens est tout aussi virulent là où les baigneurs se font plus rares. Il apparaît donc curieux que des États comme Hawaï fassent de la crème solaire leur cheval de bataille, sans se préoccuper autant des autres menaces. Selon Terry Hughes, il faudrait avant tout s'attaquer à l'augmentation de la température des océans, au déversement des pesticides et des fertilisants, mais aussi au saccage de la vie marine et à la détérioration des récifs due à la surpêche, comme c'est le cas à Hawaï.

« Bref, si l'on dressait une liste de ce qui endommage les coraux, la crème solaire se trouverait tout au bas de celle-ci, déclare-t-il. Les gens ont tendance à s'attaquer à des causes qui ne coûtent pas grand-chose et qui sont politiquement simples. Il est beaucoup plus difficile de dire à des gens qu'ils ne peuvent plus aller pêcher que de leur interdire de mettre de la crème solaire. »

Pour l'heure, il vaut mieux garder son tube à portée de main, car « n'oublions pas que l'écran solaire protège très bien contre les cancers de la peau », insiste Didier Stien. Et dans le doute, bien que la crème de la crème n'existe pas encore, on peut toujours utiliser des écrans solaires minéraux qui, eux, ne présentent pas de risque pour les récifs coralliens, du moins pas pour l'instant. 



GRANDTOUR

 Desjardins

3 AU 9 AOÛT

Partez à la conquête du lac Saint-Jean !

Roulez 7 jours dans une nature hors du commun, conjuguez les plaisirs du vélo et les points de vue inoubliables... Des vacances clé en main pour être actif, respirer et profiter du moment.

en partenariat avec



**Envie d'une
courte escapade?**
Optez pour le
forfait week-end,
du 3 au 5 août.



RÉSERVEZ VOS VACANCES!

veloquebecvoyages.com

514 521-8356 • 1 800 567-8356, poste 506

Photo : Yvan Monette et Diane Dufresne



Vélo Québec
VOYAGES

Titulaire d'un permis du Québec

CuLTuRe

ÉMILIE FOLIE-BOIVIN  @efolieb



LIRE

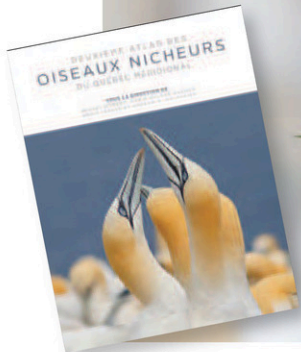


PHOTO : ARNAUD DELVAUX

Un oiseau rare

Imposant cadeau qui ne tombe du ciel qu'une fois tous les 25 ans, le *Deuxième atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional* arrive enfin sur les tablettes. Et cet ouvrage est un objet bien singulier. Ambitieux inventaire des oiseaux d'ici, le livre collige des données recueillies sur une période de cinq ans grâce à la participation citoyenne. « Les derniers sondages indiquent que de 18 % à 20 % de la population du Québec s'intéresse aux oiseaux, alors c'est facile de rallier des gens derrière un projet comme ça ! » explique Michel Robert, coordonnateur du projet au Service canadien de la faune d'Environnement et Changement climatique Canada.

Ce sont plus de 100 000 heures de travail qu'a consacrées une armada d'observateurs amateurs et professionnels bénévoles pour brosser un tableau des changements survenus au sein des populations d'oiseaux depuis le recensement pour le premier atlas, à la fin des années 1980. Les oiseaux sont un véritable indicateur de la santé de l'environnement; ils mettent en exergue les transformations de notre paysage. On apprend, par exemple, que les rapaces sont de plus en plus nombreux depuis l'interdiction de l'épandage du pesticide DDT. Quelqu'un qui se demande pourquoi on voit moins d'hirondelles trouvera aussi l'explication dans ce deuxième atlas, illustre Marie-Hélène Hachey, adjointe à la coordination du livre. Pour les curieux, la diminution de la densité des insectes volants serait notamment montrée du doigt.

Loin d'être un guide d'identification (à près de trois kilos, on est loin du poids plume!), cet ouvrage de référence est dûment garni de photos, de cartes et de graphiques. Certes technique, il demeure très accessible. Ses courts comptes rendus, clairs et bien vulgarisés, braquent les jumelles autant sur la situation actuelle du gobemoucheon gris-bleu que du plus commun des pigeons. Professionnels et nouveaux initiés le parcourront avec plaisir. Notons que l'aspect encyclopédique a disparu de cette édition, c'est-à-dire les informations liées aux caractéristiques des espèces. On les retrouve donc dans le premier atlas, toujours disponible en version PDF sur le site du Regroupement QuébecOiseaux. Pour le second, mettez la main sur la version papier, car bientôt il sera un oiseau rare. La troisième édition — qui sera publiée dans un quart de siècle — sera fort probablement électronique.

Deuxième atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional, sous la direction de Michel Robert et collaborateurs, vendu en librairie 89,95 \$ ou sur quebecoiseaux.org

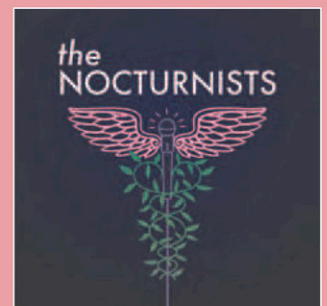


ÉCOUTER En observation

Entre les urgences et les gestes routiniers, les médecins sont parfois profondément marqués par des gens qu'ils prennent sous leur aile. C'est dans l'âme même de la relation praticien-patient que nous plonge *The Nocturnists*. Dans ce balado américain tourné « sur le vif », public inclus, et suivi d'une entrevue, les professionnels de la santé explorent une foule de sujets, comme les soins de fin de vie en milieu carcéral ou la fois où un patient déclaré mort a retrouvé son pouls. Intimes, drôles et poignantes, les histoires racontées dans *The Nocturnists* montrent toute l'humanité qui se cache derrière la froideur du rideau de la salle d'examen.

IMAGE: SHUTTERSTOCK

The Nocturnists, sur votre plateforme de balados préférée, environ 30 minutes par épisode, thenocturnists.com



VISITER

Vers l'infini et plus loin encore

IMAGE : MUSÉE AMÉRICAIN D'HISTOIRE NATURELLE ET NASA

Vous avez le nez collé sur vos soucis du quotidien? Le nouveau film *Passeport pour l'Univers*, présenté au Planétarium Rio Tinto Alcan de Montréal, vous aidera à... mettre les choses en perspective. Bien assis sous le dôme, vous effectuerez un voyage cosmique dans les plus lointains recoins de l'Univers qui vous permettra de saisir, comme jamais auparavant, notre véritable place dans l'espace. Durant l'exploration fictive, vous traverserez la nébuleuse d'Orion et entrerez dans un trou noir, un trajet basé sur les plus récentes découvertes en astronomie. Cette production du Musée américain d'histoire naturelle de New York donne le vertige. Lors de la visite, il ne faut surtout pas rater l'exposition *Femmes d'impact*, dans laquelle l'artiste Bettina Forget a dessiné les 30 cratères lunaires (sur les 1 700 répertoriés) qui ont été baptisés en l'honneur des grandes dames ayant marqué le monde des mathématiques, de la technologie et de la science au sens large. Et puisqu'un billet vous donne accès à tous les films de la journée, filez voir *Aurorae*, de retour sur les écrans du Planétarium. Portant sur les aurores boréales et accompagnée de la musique de DJ Champion, la production abonde en explications sur le phénomène dansant.

Planétarium Rio Tinto Alcan de Montréal, espacepourlavie.ca/planetarium

REGARDER Bien plus que des volcans en bicarbonate de soude

Pas étonnant que le documentaire *Science Fair* ait été l'un des favoris du dernier Festival du film de Sundance. On y raconte le parcours enlevé de neuf adolescents qui tentent de remporter les honneurs aux Olympiques de la science, l'International Science and Engineering Fair (ISEF), dans laquelle s'affrontent 1700 jeunes cerveaux de 78 pays. Et chacun est bien déterminé à changer le monde. Ça nous prend aux tripes de voir Kashfia, une jeune musulmane d'une école ne célébrant que l'élite sportive, convaincre l'entraîneur de football de la mentorer, puisque ses professeurs de science n'ont pas de temps à lui consacrer. Et que dire du contrastant et enthousiaste Robbie, véritable artiste et génie des mathématiques, qui, dans ses loisirs, programme sa calculatrice pour qu'elle lance des insultes shakespeariennes.

Les présentations réalisées dans cette exposcience mondiale transforment également des destinées, et *Science Fair* a eu la bonne idée de faire témoigner des lauréats des premiers concours nés dans les années 1950 sur les retombées que l'ISEF a eues dans leur vie. Il s'agit aujourd'hui d'éminents chercheurs. On ne peut que s'incliner devant la lumineuse jeunesse.

Science Fair (Exposciences : finale mondiale, en version française) est disponible dans l'iTunes Store, sur Google Play et Prime Video et en DVD. Aussi en vidéo sur demande à ICI Explora jusqu'au 20 juillet, puis sur la plateforme de Tou.tv Extra jusqu'en décembre prochain.

Le film dont vous êtes (tristement) le héros

Our Planet, la nouvelle série documentaire de Netflix, nous éblouit autant, sinon plus que ses consœurs *Planet Earth* et *Blue Planet*, avec ses images saisissantes célébrant la splendeur des écosystèmes. Si cette série en huit épisodes fait elle aussi appel à la narration impeccable du légendaire naturaliste David Attenborough, le ton est beaucoup plus dramatique, preuve qu'il devient quasi impossible de représenter la beauté du monde sans contempler les désolantes répercussions de l'activité humaine sur la nature. Un magnifique, mais déchirant testament de ce qu'il reste de notre planète.

Our Planet, huit épisodes d'une heure, netflix.com



LIRE

Un sujet osseux

Ils sont l'essence même de notre charpente, mais rarement peut-on observer en détail les os. Le livre *Skeleton Keys*, du vulgarisateur scientifique américain Brian Switek, sorte de biographie aussi divertissante que fouillée du squelette, met de la chair autour de l'os.

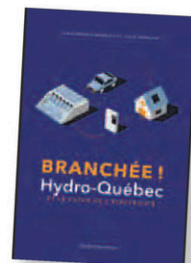
Son sujet, il le dépèce jusqu'à la moelle, en partant du moment où les poissons préhistoriques ont commencé à sortir de l'eau pour trouver de quoi se sustenter. Il nous parle également de l'arthrite dont souffraient les dinosaures, de l'obscur marché de squelettes humains et se demande ce qui a bien pu arriver au roi Richard III, enterré dans une tombe trop étroite et dont les restes ont été exhumés d'un stationnement dans la ville de Leicester. Le paléontologue amateur ne lésine pas sur les faits et les anecdotes juteuses pour aborder notre relation complexe avec cette armature, qui continue de parler de nous bien après notre trépas. L'auteur va même jusqu'à imaginer sa propre fossilisation!

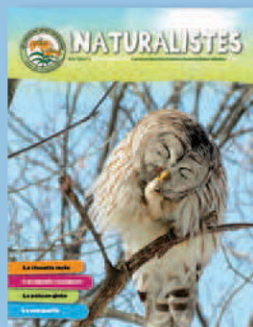
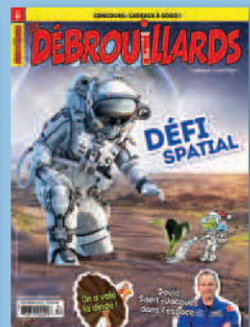
Skeleton Keys, par Brian Switek, Riverhead Books, 276 p.

Éclair de génie

Hydro-Québec fait partie de nos vies depuis maintenant 75 ans, alors quoi de mieux pour célébrer le second réseau hydroélectrique au monde en importance que de se projeter vers l'avenir? Dans cet ouvrage de vulgarisation, les journalistes Julie Barlow et Jean-Benoît Nadeau nous emmènent dans les coulisses de la société d'État et nous racontent dans un style vivant et personnel les pans majeurs de son histoire pour mieux regarder vers l'avant. On en apprend sur sa logistique de production, de transport et de distribution de l'électricité dans la province, on y décortique sa tarification tout en jetant une lumière sur les scientifiques (océanographes, chimistes, biologistes) qui y travaillent pour réaliser les études d'impact sur l'environnement. Ce livre éclairant propose de nouvelles pistes de réflexion sur notre rapport à Hydro-Québec, qui espère percer de nouveaux marchés au cours des prochaines années.

Branchée! Hydro-Québec et le futur de l'électricité, par Jean-Benoît Nadeau et Julie Barlow, Québec Amérique, 304 p.





La science grandeur nature



La science se lit aussi ici - acfas.ca/decouvrir | sciencepresse.qc.ca | multim.com

www.magazinesdescience.com



Quand la techno va, tout va... ?



Le progrès technologique peut-il être salvateur face à la dégradation écologique en cours ? Ou doit-il porter le poids de tous les maux environnementaux ? Arme à double tranchant, le jumelage technologie et environnement nous plonge dans un profond paradoxe.

Si l'on s'arrête aux répercussions environnementales des dernières décennies, le bilan est plutôt médiocre. L'utilisation massive des énergies fossiles a certes joué un rôle prépondérant dans l'évolution de l'humanité, mais à un coût exorbitant. Passons ici sur les flops qu'ont été les biocarburants de première génération, le recours massif aux pesticides, aux BPC ou aux CFC ou encore l'obsolescence programmée.

Pourtant, il existe de nouvelles technologies grâce auxquelles il est possible de produire de l'énergie de manière renouvelable et peu polluante. De surcroît, notre réalité environnementale actuelle nous permet difficilement de détourner le regard de ces avancées si nous voulons atténuer la crise climatique.

Dans l'espoir de limiter l'élévation de la température globale à 1,5 °C, suivant l'accord de Paris, il faudrait éliminer de 100 à 1 000 *gigatonnes* de CO₂ de l'atmosphère au cours de ce siècle. Au Canada seulement, les émissions étaient de 716 *mégatonnes* de CO₂ en 2017, alors que l'objectif de réduction est fixé à 513 *mégatonnes* de CO₂ d'ici 2030. Une tendance malheureusement similaire parmi les grandes nations émettrices. Voilà pourquoi le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) flirte avec une approche qui inquiète certains climatologues, car ceux-ci y voient un pari hautement risqué : la géo-ingénierie. Cette méthode comprend plusieurs techniques qui visent à réduire le réchauffement planétaire par l'élimination du CO₂ de l'air ou la limitation de la quantité de rayons solaires atteignant la surface de la planète.

On propose ainsi de fertiliser des océans afin d'en augmenter le potentiel de stockage du carbone par une croissance accrue du phytoplancton ou encore de créer des « parasols » qui seraient déployés dans la stratosphère pour refléter la lumière du soleil dans l'espace et ainsi refroidir l'atmosphère terrestre. D'autres s'appuient sur l'afforestation (plantation d'arbres dans des lieux n'ayant jamais été boisés) ou sur la captation de CO₂ directement à partir de l'air, à l'instar de ce que suggère l'entreprise canadienne Carbone Engineering.

Lennui, c'est que certaines de ces technologies sont peu ou pas éprouvées ou très coûteuses, laissant place à une grande incerti-

tude quant à leur contribution réelle et opportune, sans compter leurs effets potentiellement pervers sur les écosystèmes naturels.


L'IA À LA RESCOURSE ?

Mais voilà que viennent s'ajouter des éléments impossibles à ignorer, soit l'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage profond. Voitures autonomes, ville intelligente, agriculture de précision : tout cela pourrait permettre de créer un avenir « durable » selon certains... dans la mesure où nous nous y prenons bien et que nous avons appris des erreurs des révolutions industrielles passées. Rassurant ou foi aveugle ?

Au-delà des écueils fréquemment évoqués entourant l'IA, dont l'aspect éthique, peu semblent se pencher sur les implications écologiques de cette nouvelle venue dans l'équation. Le Forum économique mondial l'a illustré de façon douloureusement claire dans un récent rapport traitant de six grands risques que présente l'IA pour la planète. L'incidence sur l'environnement y est principalement mentionnée sous l'angle du « risque économique » : les auteurs estiment qu'une productivité accrue grâce à l'IA et à l'automatisation pourrait contribuer à l'augmentation de l'utilisation des ressources, du gaspillage et de la demande en énergie. Les solutions soumises aux gouvernements ? Être proactifs et se doter de structures de gouvernance nationales et internationales sophistiquées et adéquates. Vraiment ? Trente ans après la création du GIEC et l'état accablant de notre biosphère ? Vous me pardonnerez mon incrédulité...

Pour certains, comme le philosophe Steven Pinker, les développements technologiques étant inéluctables et contribuant à notre prospérité, il serait inconcevable de ne pas en tirer profit afin de résoudre nos problèmes écologiques et sociétaux les plus criants.

Pour d'autres, tel que le chroniqueur environnemental George Monbiot, bien que les changements technologiques soient nécessaires, notre futur climatique doit d'abord reposer sur les efforts de restauration des milieux naturels, tout en remettant en question les fondements mêmes de notre système économique global – dont dépendent grandement les avancées technologiques.

Bien humblement, s'il m'apparaît évident que les innovations contribuent, pour la plupart, à de nombreux bienfaits et peuvent difficilement être ralenties, il me semble qu'un peu de modestie, de recul, de discernement et de prévoyance seraient de mise devant l'application tous azimuts de technologies qui, au mieux, pourraient nous épargner moult maux de tête climatiques et environnementaux et, au pire, faire de nous de véritables apprentis sorciers des temps modernes! 

Les opinions exprimées dans cette chronique n'engagent que leur auteur.

RÉTROVISEUR

L'HISTOIRE DES SCIENCES VUE PAR SATURNOME

C'est dans la Rome antique que l'on a découvert le premier édulcorant artificiel.

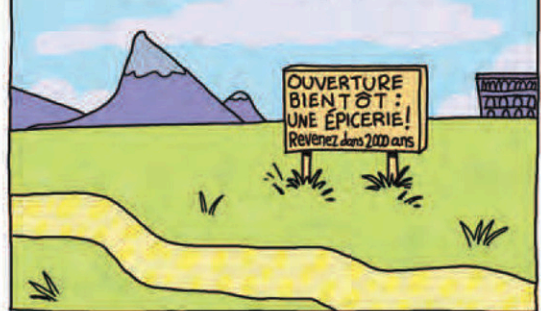


Par accident.

Et ça a mal tourné.



Les Romains de l'époque aimaient bien sucrer leurs créations culinaires, mais c'était plus facile à dire qu'à faire.



Bien sûr, il y avait le miel... Mais il y avait sans doute mieux.



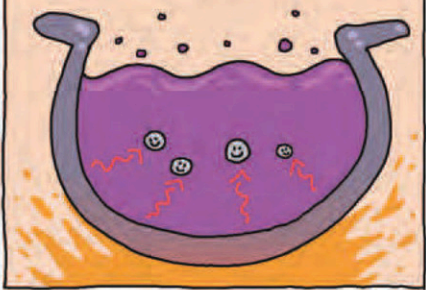
Ils découvrirent que, en faisant bouillir des raisins, on obtenait un liquide sucré, qu'ils nommèrent sapa.



Curieusement, ils remarquèrent que le sapa bouilli dans une casserole de plomb était plus sucré que dans les autres casseroles.



Pourquoi? Sous l'effet de la chaleur, des particules de plomb s'échappaient dans le liquide, et cet élément avait un goût sucré.



En peu de temps, les Romains réussirent à cristalliser l'acétate de plomb et à faire un sucre parfait pour cuisiner.



Tout le monde se réjouit!



Et tout le monde fut atteint de saturnisme, la maladie de l'intoxication au plomb.



Pendant les années 1980, une étude tenta de recréer le sapa et détermina que la dose de plomb était alors 1000 fois plus forte que la dose acceptable de nos jours.



On se demande aujourd'hui si l'acétate de plomb n'aurait pas joué un rôle dans la chute de Rome...

Saturnome

L'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE À LA PORTÉE DE TOUS



Économisez
jusqu'à 51%
sur le prix en
kiosque

1 AN > 8 numéros > 36 \$

2 ANS > 16 numéros > 58 \$

3 ANS > 24 numéros > 81 \$

(plus taxes)

Aussi offert en
édition numérique

1 AN > 27 \$*

*Gratuit pour les abonnés
à l'édition imprimée

ABONNEZ-VOUS !

quebecscience.qc.ca/abonnez-vous
514 521-8356 - 1 800 567-8356, poste 504



LA PREUVE PAR L'IMAGE

VISITEZ L'EXPOSITION GRATUITE

au Planétarium Rio Tinto Alcan
du 14 mai au 8 décembre 2019

espacepourlavie.ca

ET VOTEZ

pour le prix du public *Découverte*
jusqu'au 15 septembre 2019

ici.radio-canada.ca/decouverte

