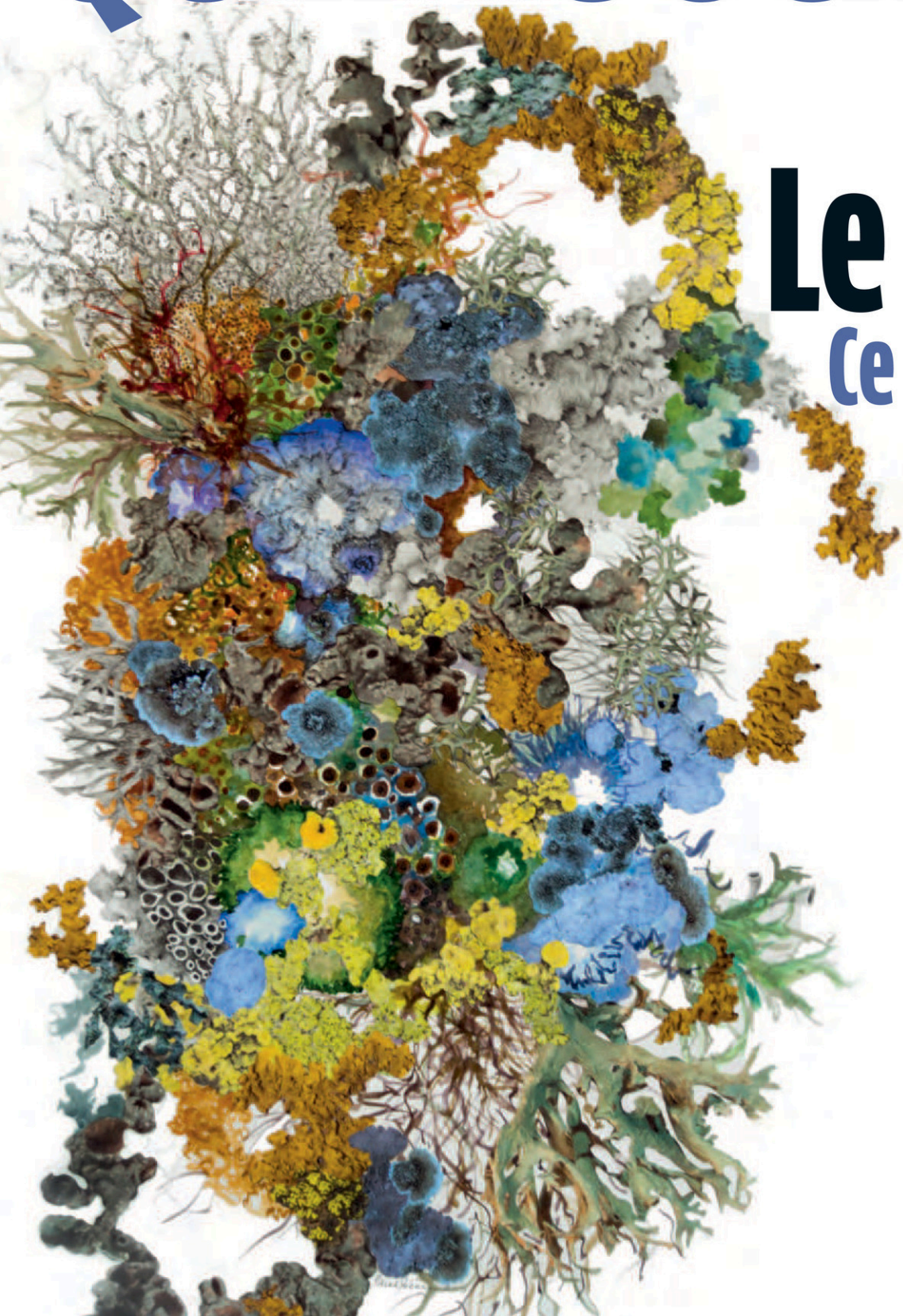
28e ÉDITION

Les 10 découvertes de l'année

JANVIER-FÉVRIER 2021

QUÉBEC SCIENCE



Le lichen
Ce bel inconnu

Il couvre 7 % de la planète. Il est temps de se laisser séduire.

UDES

NOUS FORMONS LES CHERCHEURS DE DEMAIN

Grâce à son Institut quantique, l'UdeS se positionne parmi les leaders mondiaux en science et technologies quantiques.

C'est en plaçant la communauté étudiante au cœur de nos recherches, dans un environnement interdisciplinaire et collaboratif, que nous formons la prochaine génération de chercheuses et de chercheurs.

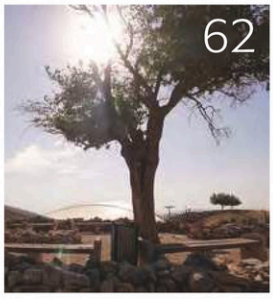
Félicitations à nos lauréats pour leur découverte sur l'utilisation des microaimants dans le développement de processeurs quantiques.

USherbrooke.ca/recherche

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

SOMMAIRE

ILLUSTRATION DE LA COUVERTURE : SARAH HEARN, ARTIFICIAL LICHEN COLONY COLLAGE #5



EN COUVERTURE

19 La forêt des mal-aimés
Le lichen est partout, à la ville et à la campagne, pourtant peu d'entre nous savent que ce n'est pas une plante – ni qu'il couvre sept pour cent de la planète. Cette forme de vie éclatée a beaucoup à nous apprendre.

Votez pour votre découverte préférée. Détails en p. 72.

PALMARÈS ANNUEL

31 Les 10 découvertes de l'année
Pour la 28e année d'affilée, nous dévoilons les percées majeures effectuées par des chercheurs québécois qui ont impressionné notre jury.

REPORTAGES

24 Un pas de géant vers l'infiniment petit
Une astucieuse technique de microscopie en met plein la vue aux chercheurs : elle permet d'observer les molécules en pleine action sans les altérer. De quoi repousser les frontières de la science.

62 Les ruines d'un lieu de fête
L'énigmatique site archéologique de Göbekli Tepe continue de dévoiler des indices sur une période charnière de l'histoire, à l'aube de la naissance de l'agriculture.

SUR LE VIF

8 LE CABINET DES CURIOSITÉS
Accepteriez-vous qu'un robot emballe ces fragiles gâteaux ? Les robots « souples » se spécialisent dans les tâches délicates.

10 Y A-T-IL UNE TRANSMISSION DANS L'AVION ?
Après des mois de recherche, que sait-on sur les risques de contracter la COVID-19 en avion ?

12 DES EXPÉRIENCES DE PSYCHOLOGIE ABRACADABRANTES
Réaliser des tours de magie devant des animaux pourrait aider à mieux comprendre leur cognition.

13 LE SOLEIL A-T-IL COULÉ LE *TITANIC* ?
Une tempête géomagnétique aurait pu être à l'origine du naufrage du célèbre navire.

16 L'HUMAIN APRÈS L'HUMAIN
Et si la science-fiction nous en apprenait davantage sur l'évolution humaine ?

71 DAME TURBINE
Ingénieure de renom, Claire Deschênes a contribué à l'amélioration significative des turbines qui sont au cœur de nos barrages hydroélectriques.

4 **Éditorial** Par Marie Lambert-Chan | 5 **Babillard** | 11 **Carnet de santé** Par la Dre Alexandra S. Arbour
13 **Technopop** Par Chloé Freslon | 14 **Polémique** Par Jean-François Cliche | 67 **Culture** Par Émilie Folie-Boivin
69 **Anthropocène** Par Jean-Patrick Toussaint | 74 **Rétroviseur** Par Saturnome

MARIE LAMBERT-CHAN @MLambertChan

Éditorial

Une multitude invisible

À force de célébrer les réussites individuelles de chercheurs, on en vient à oublier que la science est un travail d'équipe.

« Pour toi, qu'est-ce qu'un scientifique ? Peux-tu m'en faire un dessin ? » Depuis plus de 50 ans, des dizaines de milliers d'enfants ont répondu à la question et suivi la consigne dans le cadre d'une expérience désormais classique en sciences sociales. L'objectif est de mieux comprendre comment les jeunes perçoivent les chercheurs. Si, au fil du temps, les enfants ont dessiné de plus en plus de femmes, les portraits demeurent assez stéréotypés : un homme blanc en sarrau, portant parfois des lunettes de protection et des gants. Et il travaille presque toujours seul.

Si la vérité sort bel et bien de la bouche des enfants, on doit se rendre à l'évidence que nous entretenons une vision éculée du scientifique, fortement influencée par le mythe du génie solitaire. Il faut dire que l'histoire et la culture populaire ont eu le chic de porter aux nues des héros scientifiques en leur créant une trame narrative dans laquelle eux seuls parvenaient à résoudre des problèmes complexes à la seule force de leurs neurones. Pourtant, presque aucun ne travaillait en ermite. Même le grand Albert Einstein avait des collaborateurs, notamment le mathématicien Marcel Grossmann et l'ingénieur Michele Besso, qui ont contribué de façon importante à la théorie de la relativité générale.

Stephen Hawking a certes été l'un des esprits les plus brillants de notre époque, mais aurait-il pu devenir ce qu'il a été sans l'apport d'une petite armée de doctorants, d'assistants, d'infirmières et d'experts informatiques ? Dans un ouvrage paru en 2014, *À la recherche de Stephen Hawking*, la philosophe et anthropologue des sciences Hélène Mialet a justement cherché à mieux comprendre le célèbre scientifique à travers le réseau de personnes et de machines qui le soutenaient. Elle déboulonnait ainsi le mythe en montrant que « l'individu n'existe que par le collectif ». Le livre n'a pas eu l'heur de plaire, surtout à certains Britanniques, qui l'ont accusée de désacraliser une icône. L'auteure a même reçu des menaces de mort.

Il est plus que temps de mettre fin à cette représentation fictive. La science a toujours été un travail d'équipe. Depuis quelques années maintenant, c'est probablement la plus grande œuvre collective qui soit. Pensons à ces « mégapapiers » signés par des milliers de chercheurs, un phénomène récent, mais qui prend de l'ampleur. L'étude qui confirmait l'existence des ondes gravitationnelles contenait une liste d'auteurs courant sur trois pages – mais seuls trois chercheurs ont reçu le prix Nobel de physique pour cette découverte. Cette récompense et bien d'autres incarnent tout ce qui cloche autour de cet attachement viscéral à l'idée que l'esprit d'un chercheur se suffit à lui-même. Une percée scientifique est la somme du labeur de plusieurs personnes, non seulement au sein d'une même équipe, mais aussi à l'extérieur du groupe, soit des hommes et des femmes qui ont précédé les « découvreurs » retenus par l'histoire. Ils rejoignent les rangs d'une multitude invisible à qui, pourtant, nous devons beaucoup.

Pendant ce temps, plusieurs aspirants scientifiques mettent une croix sur cette carrière, convaincus que seuls les intellects supérieurs peuvent réussir en recherche. Nourri aux récits de géants intellectuels, le biologiste Martin Chalfie, lauréat d'un Nobel pour la découverte de la protéine fluorescente verte en 2008, a failli tout abandonner au début de sa carrière. « Je sentais que je devais tout faire par moi-même parce que demander de l'aide était le signe que je n'étais pas assez intelligent, a-t-il expliqué. Je vois maintenant à quel point cette attitude était destructrice. » Et elle continue de l'être pour bien des jeunes chercheurs. Que cela soit intentionnel ou non, cette vision romancée du savant génial est persistante dans certains domaines, entre autres en physique et en philosophie. Cela crée une pression intenable. En serait-il de même si l'on insistait sur l'importance de la persévérance et de la collaboration ?

Les mythes sont difficiles à déconstruire. Montrer le vrai visage de la science est cependant une tâche qu'il faut entreprendre, ne serait-ce que pour que les prochaines générations de scientifiques sachent que l'avancement des connaissances repose sur plusieurs épaules. C'est l'une des raisons pour laquelle notre palmarès des 10 découvertes de l'année inclut, depuis quelques années, les noms de tous les chercheurs qui ont participé aux études (du moins ceux qui sont établis au Québec) et pas uniquement les premiers auteurs. Prenez le temps de les lire. La science, c'est eux !

MERCI, SUZANNE !

Ce numéro est le dernier que notre éditrice Suzanne Lareau révisera avec son œil averti. En février, elle nous quittera pour d'autres aventures, après avoir travaillé pendant plus de 35 ans chez Vélo Québec (qui chapeaute notre maison d'édition), dont 19 à la tête de l'organisation. Passionnée de vélo, Suzanne est également une mordue de nouvelles scientifiques. Elle s'est toujours portée à la défense de la culture scientifique et du droit du public à l'information. Et surtout, elle a toujours cru à l'importance d'un magazine comme le nôtre dans l'industrie médiatique. Son aplomb, son souci de la précision, sa curiosité, son rire et son immense confiance en notre équipe nous manqueront beaucoup. Merci pour tout, Suzanne !

JANVIER-FÉVRIER 2021
VOLUME 59, NUMÉRO 5

Rédactrice en chef
Marie Lambert-Chan
Journalistes
Marine Corniou, Mélissa Guillemette
Journaliste Web et médias sociaux
Annie Labrecque
Collaborateurs
Maxime Bilodeau, Jean-François Cliche, Miriane Demers-Lemay, Émilie Folie-Boivin, Chloé Freslon, Joël Leblanc, Martine Letarte, Renaud Manuguerra-Gagné, Etienne Plamondon Emond, Charles Prémont, Alexandra S. Arbour, Saturnome, Jean-Patrick Toussaint, Dominique Wolfshagen
Correctrice-réviseure Sophie Cazanave
Directrice artistique Natacha Vincent
Photographes/illustrateurs
Robert Baronet/ IDHP inc., Jessica Deeks, Sarah Hearn, Nicole Aline Legault, Donald Robitaille, Michel Rouleau,Vigg

Éditrice Suzanne Lareau
Comptabilité Mimi Bensaid
Chargée de projets, communications marketing Maryvonne Charpentier
Conseillère, relations de presse et marketing 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 Solisco
Distribution Messageries Dynamiques
Parution : 7 janvier 2021 (567e 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 2021 – *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

NOTRE COUVERTURE

En lisant le reportage de ma collègue Mélissa Guillemette sur les lichens, je me suis dit à quel point un bouquet de différentes espèces de lichens serait joli. Je ne suis pas la seule à avoir eu cette idée : l'artiste Sarah Hearn en a fait sa spécialité. Ses œuvres m'ont éblouie. J'aime quand la science et l'art se rencontrent. Comme notre équipe, elle estime que le lichen mérite d'être mieux connu. «Je veux attirer l'attention sur les formes de vie terrestres inaperçues tout en réalisant de nouvelles formes de vie artificielles. […] Les lichens font partie des espèces les plus improbables, mais les plus réelles de notre planète, ce qui illustre à quel point la science peut être plus étrange que la fiction», écrit-elle pour expliquer sa démarche. Je ne saurais mieux dire.

— Natacha Vincent, directrice artistique

À voir : www.sarahhearn.art

À LIRE SUR NOTRE SITE WEB

La seconde vie d'*Hayabusa 2*
À peine la sonde japonaise a-t-elle rapporté des échantillons de l'astéroïde Ryugu sur Terre qu'elle était déjà repartie pour un nouveau voyage.

Animaux arctiques : ce que révèlent 30 ans d'espionnage
Leur comportement se modifie en réaction au réchauffement climatique.

Rendez-vous au www.quebecscience.qc.ca/babillard

MON «DERNIER» *QUÉBEC SCIENCE*

Ceci est le dernier numéro de *Québec Science* que j'édite. En effet, je quitte mes fonctions de présidente-directrice générale de Vélo Québec à la mi-février.

Nous publions *Québec Science* depuis 2008. Quel est le rapport entre ces deux secteurs d'activité ? nous a-t-on souvent demandé. C'est le fruit d'une occasion et d'une alliance d'idées qui a poussé Vélo Québec Éditions à faire l'acquisition du magazine alors que le Cégep de Jonquière cherchait à s'en départir. Une publication de plus pour notre petite maison d'édition, mais qui venait avec de grandes responsabilités que nous avons prises très au sérieux : vulgariser la science et éduquer nos concitoyens et concitoyennes. Bien sûr, quand on parle d'astronomie ou de physique quantique, le lien avec Vélo Québec est ténu, voire inexistant. Mais lorsqu'il est question de santé et d'environnement, voilà des sujets qui s'inscrivent dans la mission de notre organisation et, à cet égard, notre quête d'information juste est insatiable.

C'est donc le dernier *Québec Science* que j'édite, mais c'est loin d'être votre dernier *Québec Science*, puisque la qualité du traitement journalistique ne changera pas. L'équipe de rédaction, dirigée par Marie Lambert-Chan, reste bien en selle pour poursuivre le travail. Je tiens d'ailleurs à souligner la rigueur de l'équipe qui continuera à vous offrir ce magazine. Une petite équipe qui ne s'en laisse pas imposer malgré les temps difficiles que traverse la presse écrite. Longue vie à *Québec Science*, qui célébrera ses 60 ans en 2022 !

— Suzanne Lareau, PDG de Vélo Québec et fidèle lectrice de *Québec Science*

Abonnez-vous	Écrivez-nous	Suivez-nous
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	**courrier@quebecscience.qc.ca** Magazine *Québec Science* 1251, rue Rachel Est Montréal (QC) H2J 2J9	**www.quebecscience.qc.ca**

Conseil de recherches en sciences humaines du Canada | Social Sciences and Humanities Research Council of Canada | Canada

Stimulés par l'innovation

Propulsés par l'excellence

—

Facultés, écoles, hôpitaux et instituts de recherche : le réseau de l'Université McGill est un chef de file dans le domaine des innovations qui améliorent la qualité de vie au Québec et partout dans le monde.
Chaque année, nos chercheurs repoussent les frontières du savoir. Nous les félicitons pour leurs réussites et leur nomination pour les *Découvertes de l'année 2020* de *Québec Science*.

McGill

Centre universitaire de santé McGill
McGill University Health Centre

Nouvelles avenues pour le traitement de tumeurs cérébrales

Les D^RS **KEVIN PETRECCA** et **CHARLES COUTURIER** ont démontré l'existence d'une hiérarchie cellulaire dans les cellules souches cancéreuses à division rapide à l'origine du cancer du cerveau. En les ciblant directement, les chercheurs pourraient mettre au point un traitement qui ralentirait la progression de la maladie. Les résultats de leur ambitieux projet amènent une bouffée d'espoir dans la lutte contre cette impitoyable maladie.

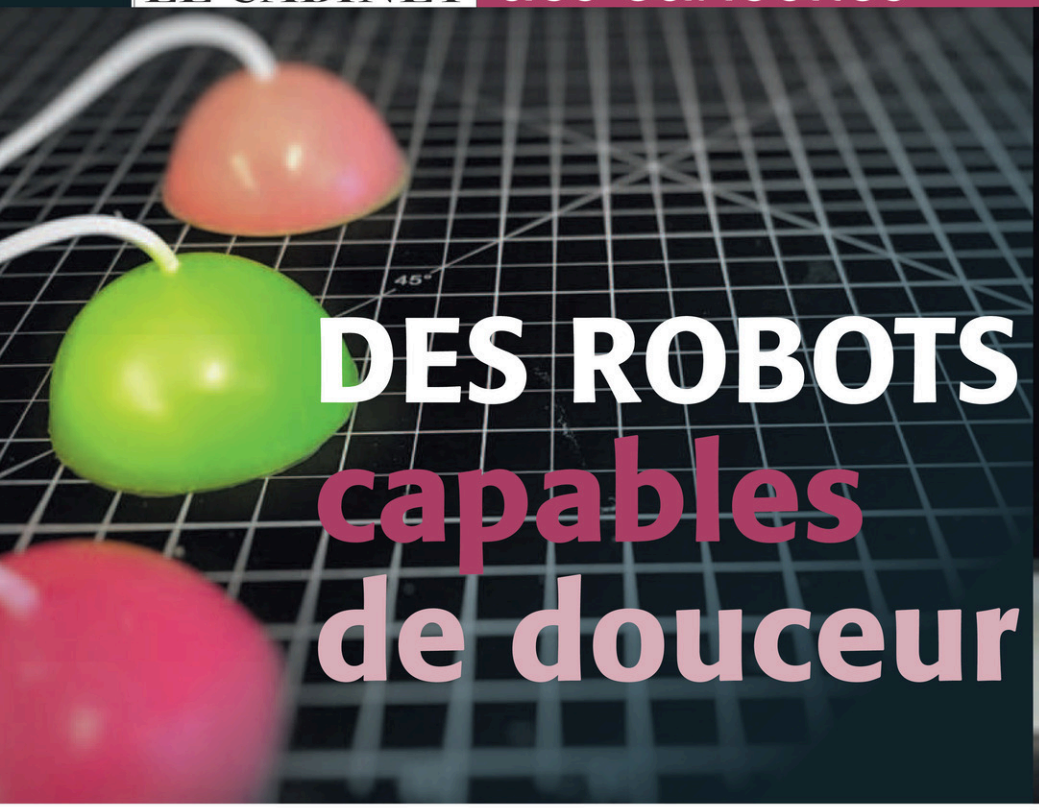
Progrès important dans la compréhension de tumeurs cérébrales pédiatriques

Les D^RES **CLAUDIA KLEINMAN** et **NADA JABADO** ont découvert que plusieurs types de tumeurs cérébrales pédiatriques très agressives et fatales apparaissent au cours du développement du cerveau, et ce, dès les phases prénatales.
La découverte de ce processus biologique aide à comprendre les mécanismes sous-jacents à la maladie et à mieux orienter les recherches pour les déjouer.

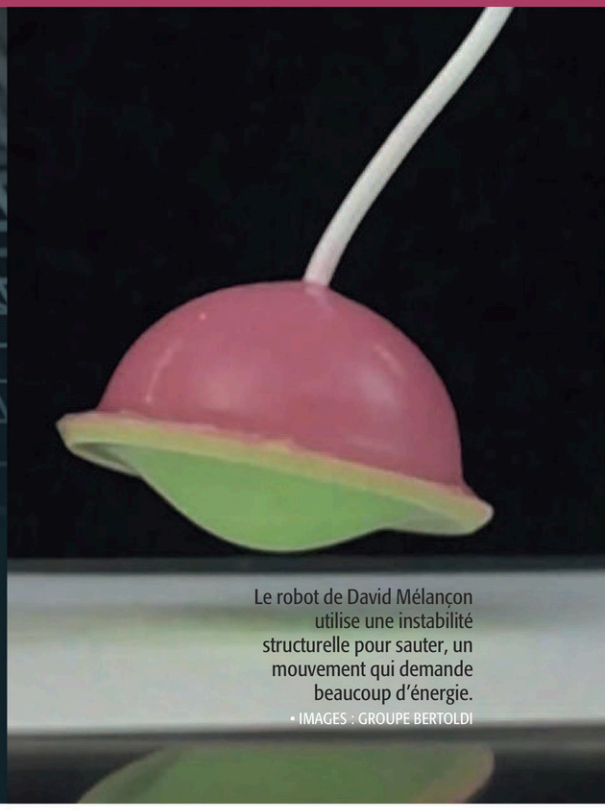
neuro
Institut-Hôpital neurologique de Montréal

Centre universitaire de santé McGill
Institut de recherche

McGill University Health Centre
Research Institute



DES ROBOTS capables de douceur



Le robot de David Mélançon utilise une instabilité structurelle pour sauter, un mouvement qui demande beaucoup d'énergie.
• IMAGES : GROUPE BERTOLDI

Accepteriez-vous qu'un robot emballe ces gâteaux que vous avez mis des heures à décorer? Les robots « souples » se spécialisent dans les tâches délicates.

Par Mélissa Guillemette

Oubliez tout ce que vous connaissez des robots : les lignes droites, les pièces métalliques, les gestes saccadés. L'objet que David Mélançon tient entre ses mains a plutôt l'air d'un jouet parfait pour calmer les poussées dentaires : une demi-sphère rose en caoutchouc sur une base vert lime. À l'aide d'un petit conduit qui surmonte le tout, le jeune chercheur y insuffle tranquillement de l'air. Puis, pop ! Tout d'un coup, la base verte se bombe, assez pour projeter l'objet en l'air. Il s'agit bien d'un robot sauteur, digne représentant d'une nouvelle catégorie d'automates : les robots souples !

Avant de comprendre l'utilité d'un tel acrobate, cernons le problème. La robotique classique, « c'est très précis, mais cela nécessite beaucoup de contrôle, dit le doctorant de l'Université Harvard. Il n'y a pas de place à l'erreur : s'il rencontre une nouveauté, le robot ne sait pas comment réagir. D'ailleurs, dans une chaîne de montage, on installe souvent une protection [une cloison] entre les humains et les robots ».

La robotique souple, avec ses matériaux déformables, fait de la sécurité et de l'adaptation à l'environnement une priorité. Ces automates ressemblent davantage aux créations de la nature. Ils s'inspirent entre autres de l'agilité de la trompe d'éléphant, de la locomotion du serpent et de la propulsion par jet du calmar. Au lieu d'être activés par un moteur traditionnel, ces robots nouveau genre font appel à l'air, l'eau, l'huile, des gaz, la chaleur, la lumière, un changement de pH ou des ondes.

Tout cela est encore très émergent ; l'expression *robot souple* est apparue dans la littérature scientifique au début des années 2000. L'un des premiers modèles qui a marqué les esprits était une bibite à quatre pattes capable d'explorer le monde. Présentée en 2011, elle était aussi activée par un influx d'air : cinq conduits la pressurisaient et la dépressurisaient. Quand cette créature rencontrait un mur de verre suspendu à deux centimètres du sol, elle s'écrasait pour passer dessous. Regarder la vidéo de présentation suffit toutefois à se convaincre que la vitesse n'est pas sa force. « Si l'on veut qu'un tel robot rampe très vite, il faut changer la pression d'air très rapidement : gonfler, dégonfler, regonfler, etc., indique David Mélançon. Dans mes travaux, je teste si un [apport d'air] lent peut provoquer un mouvement rapide. »

Son robot sauteur, décrit dans *Science Robotics* en 2020, prouve qu'une géométrie originale permet de contourner certaines limites. Des usages concrets pour ce genre de mécanismes sont envisageables : cette énergie soudaine pourrait aider un robot à sauter pour s'échapper d'une situation hasardeuse ou encore servirait un jour à réaliser certains prélèvements dans des vaisseaux fragiles.

Les usages médicaux sont régulièrement cités par les scientifiques du domaine. Par

exemple, des chercheurs de Hong Kong ont mis au point un gant robotisé pour aider les patients à rééduquer leurs doigts après un accident vasculaire cérébral. De son côté, une équipe de l'Université de Sherbrooke a inventé un robot de plastique et de silicone qui effectue des biopsies de la prostate dans un appareil d'imagerie par résonance magnétique (dans lequel on ne peut introduire aucun objet métallique).

Il existe aussi des hybrides dotés de composants souples et de composants rigides. C'est le cas du dispositif portatif qu'a construit Catherine Véronneau dans le cadre de son doctorat à l'Université de Sherbrooke. Dévoilé en 2020, il se porte à la taille et agit comme un troisième bras pour accomplir différentes tâches, comme tenir le fuselage d'un avion qui doit être fixé à l'aide de rivets. Une unité contenant le moteur y est reliée, suivant l'utilisateur comme un petit aspirateur au sol.

Attention, s'il a suffisamment de délicatesse pour cueillir des tomates, ce membre surnuméraire peut tout autant défaire un mur de gypse. « En robotique, on a toujours des compromis à faire entre la force et la douceur, rappelle-t-elle. Nous, on essaie de faire une pépine qui peut flatter un chaton ! »

Elle nous fait voir la main de plus près. « L'exosquelette noir est solide : il est fait de plastique imprimé en 3D. Mais l'intérieur des doigts est mou. C'est une matière qui ne prend pas d'expansion radialement, mais qui s'allonge dans l'axe du cylindre quand on met de la pression [ici de l'eau]. Le doigt n'a pas le choix de plier à cause de l'exosquelette autour. »

Pour éviter que l'utilisateur se voie chahuté au fil des gestes du bras robotisé, ses créateurs ont eu recours à des actionneurs particuliers : des embrayages magnétorhéologiques. Ces mécanismes logés avec le moteur sont remplis d'un mélange d'huile et de fer dont la viscosité s'ajuste grâce à un champ magnétique. Ils constituent une espèce de tampon entre le moteur et l'action du robot. « Si l'on avait choisi des actionneurs classiques et que le robot frappait dans le mur, je subirais le contrecoup : ça me ferait mal et je revolerais ! » mentionne Catherine Véronneau. Enfin, un peu de douceur dans ce monde de brutes ! ●

L'ingénieure mécanique Catherine Véronneau fait la démonstration que son bras robotisé peut cueillir des fruits.
• IMAGE : CREATEK

La main a été conçue avec le stagiaire Vincent Blanchard. Un exosquelette « dur » reproduit les articulations des doigts humains, tandis qu'à l'intérieur un tissu souple abritant un tube de silicone se remplit d'eau et se vide pour accomplir les mouvements souhaités.
• IMAGE : CREATEK

Le *squidbot*, inventé à l'Université de Californie à San Diego en 2020, se déplace à la façon d'un calmar : en absorbant puis en éjectant l'eau. Il peut parcourir environ 800 mètres à l'heure.
• IMAGE : UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À SAN DIEGO/JACOBS SCHOOL OF ENGINEERING

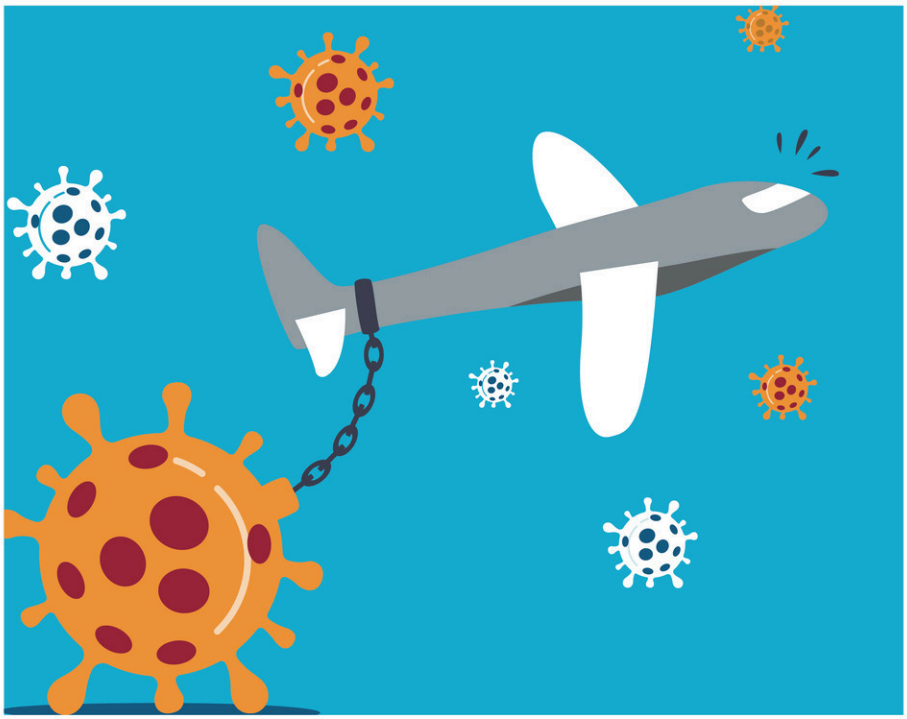
Ce robot en forme de fleur est assez rapide pour attraper une mouche ! Il a été créé par des chercheurs de l'Université de Linz, en Autriche, et du Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), en Allemagne. Il est activé grâce à un champ magnétique, peut-on lire dans *Communications Materials*.
• IMAGE : HZDR

Les mouvements de ce robot sont basés sur les mêmes principes qui permettent aux plantes de bouger : la circulation de l'eau et l'osmose. Ce tube flexible contient un liquide avec des particules chargées qui se déplacent lorsqu'une batterie entre en jeu, entraînant l'eau avec elles.
• IMAGE : ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA, 2019

Y a-t-il une transmission dans l'avion?

Des chiffres rassurants circulent sur les risques de contracter la COVID-19 en avion. Mais ils sont extrapolés d'études beaucoup moins catégoriques.

Par Etienne Plamondon Emond



Le 15 octobre 2020, le département de la Défense des États-Unis s'empresse de diffuser les résultats d'une étude qu'il a financée. Elle portait sur la dispersion d'aérosols dans un avion commercial et avait été réalisée à l'intérieur de Boeing 767 et 777, où des têtes de mannequins émettaient des particules fluorescentes. Des capteurs mesuraient en temps réel leur parcours d'un bout à l'autre de la cabine et ont révélé que, grâce à la ventilation, un maximum de 0,3 % des aérosols de un micromètre atteignait le siège voisin.

Dans son communiqué de presse, le commandement des transports de l'armée américaine (US Transcom) mise sur un chiffre-choc : il faudrait 54 heures de vol pour inhaler une charge virale suffisante pour contracter la COVID-19. L'affirmation a fait sursauter Joshua Santarpia… l'un des coauteurs de l'étude. « Les résultats seraient transposables à la réalité si la seule façon d'attraper la maladie était par les aérosols et que les passagers restaient continuellement assis le regard droit devant, ne se levaient jamais, portaient toujours un masque adéquatement, ne mangeaient pas, au fond s'ils ne faisaient jamais rien », lâche en riant le professeur associé au Centre médical de l'Université du Nebraska.

L'enthousiasme de US Transcom, qui effectuait cette recherche pour évaluer le transport de militaires, trahit-il une impatience partagée par plusieurs États et entreprises à l'égard d'un retour à la normale dans l'achalandage aérien ? Après tout, les revenus des transporteurs ont fondu de plus de 500 milliards de dollars en 2020. « L'industrie aérienne est dans une mauvaise passe, souligne le Dr David Freedman, professeur de médecine et d'épidémiologie à l'Université de l'Alabama à Birmingham. Et tout le monde veut un chiffre ou un pourcentage relatif au risque » pour rassurer les voyageurs.

En se référant aux cas de transmission que ce professeur avait recensés de manière indépendante dans le *Journal of Travel Medicine*, l'Association internationale du transport aérien (IATA) a claironné, l'automne dernier, qu'il n'y avait eu que 44 passagers infectés en vol sur 1,2 milliard de passagers depuis le début de la pandémie. « Ce n'est tout simplement pas exact », répète le Dr Freedman, précisant que, pour soutenir un tel propos, il aurait fallu tester l'ensemble des voyageurs lors de leur débarquement. « Les compagnies aériennes ont probablement raison d'affirmer que les risques sont faibles. Mais qu'elles essaient de dire que ce risque s'approche de zéro n'est pas correct. »

Depuis la parution de son article, une étude analysant le génome du virus chez des personnes déclarées positives à leur retour de voyage a dévoilé de nouveaux cas. Elle n'a pas encore été révisée par les pairs, mais laisse croire qu'au moins quatre transmissions se sont produites durant un vol entre les Émirats arabes unis et la Nouvelle-Zélande malgré le port du masque et de gants. Des analyses semblables du département de la Santé publique d'Irlande indiquent que 10 contaminations ont eu lieu à l'été 2020 dans un appareil à partir d'une seule source de propagation. Et ce, même si à peine 17 % des sièges étaient occupés.

Vincent Poirier, urgentologue au Centre universitaire de santé McGill et consultant médical pour Air Canada et Air Transat, reconnaît que la communauté médicale s'est gratté la tête en lisant cette dernière étude. Après tout, les compagnies aériennes n'ont pas chômé pour limiter la propagation du virus.

Il vient de cosigner une revue de la littérature dans le *Journal of Travel Medicine* qui conclut que les voyageurs courent des risques minimes avec certaines précautions et à condition que la distanciation physique soit assurée au moment de l'embarquement

• IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM

et du débarquement. Une fois les passagers assis, les choses se compliquent. « Les deux mètres de distance dans un avion ne pourront jamais être rentables, dit le Dr Poirier. Mais avoir un siège de libre [entre les passagers] diminue le risque de contamination. » Quelques transporteurs bloquent encore des sièges à ces fins, mais ils deviennent rares. La plupart jugent que ce n'est plus nécessaire en se basant sur des simulations informatiques des flux d'air réalisées par les constructeurs Boeing, Airbus et Embraer. « Ce sont de bonnes études, mais j'aimerais en voir plus », remarque le Dr Poirier.

Nul doute que le système de ventilation d'un appareil en vol est beaucoup plus efficace que celui qu'on trouve dans un bâtiment. Il fait circuler fréquemment l'air en le mélangeant à une grande quantité d'air provenant de l'extérieur et recourt à des filtres à haute efficacité pour les particules de l'air ou filtres HEPA. Et s'ils suivent les orientations de l'IATA et de l'Organisation de l'aviation civile internationale, les transporteurs doivent le laisser fonctionner au sol et renouveler entièrement l'air de l'appareil avant l'embarquement. « C'est mieux que de voyager en bus, estime Joshua Santarpia. Mais si vous n'y êtes pas obligé, pour l'instant, je ne vous suggérerais pas de prendre l'avion. »

Il ne faudrait surtout pas oublier un détail : « Ce qui manque [dans les études], c'est ce qui se passe avant de monter à bord », mentionne Vincent Poirier. Prendre un taxi pour se rendre à l'aéroport, utiliser une borne d'enregistrement, passer les points de contrôle, s'arrêter dans un commerce dans l'aérogare : autant d'étapes durant lesquelles un voyageur peut contracter le virus. À la suite de la deuxième phase d'une étude menée à l'Université Harvard, financée par Airlines for America, un rapport à ce sujet devrait être déposé au début de 2021. Néanmoins, dans un lieu moins contrôlé qu'une carlingue, les chances semblent encore plus minces d'arriver à un chiffre précis et rassurant. ●

• IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM

Dre ALEXANDRA S. ARBOUR @alexandraarbour

La goutte de trop

On n'oublie jamais son premier « mort ». Première semaine de mon premier stage à l'hôpital. Un père de famille dans la jeune quarantaine, d'origine indienne, entrepreneur en électronique. Il en était à sa cinquième hospitalisation en un an pour la même raison : hépatite alcoolique. Chaque fois, on lui donnait son congé en lui disant que l'alcool finirait par le tuer s'il n'y renonçait pas. Ce qui devait arriver arriva. Après une période d'abstinence, il a recommencé à boire. Il est revenu à l'hôpital et n'en est jamais ressorti.

Le soir venu, j'ai eu besoin de décompresser. Je suis allée chez une amie, qui a débouché un sauvignon blanc pour l'occasion. En sirotant mon vin, l'idée que l'alcool — substance omniprésente et banalisée — n'était peut-être pas si inoffensif m'a frappée de plein fouet. Contradiction, vous dites ?

Cette pensée m'a ensuite accompagnée dans mes premières années de résidence au Centre hospitalier de l'Université de Montréal, le plus grand centre de greffe hépatique de la province. Prendre soin de patients victimes des ravages de l'alcool constituait alors l'essentiel de mes journées et de mes nuits…

Bien que j'aie certainement eu un biais d'observation, mon impression n'était pas complètement erronée. Une publication du *Lancet* a révélé que l'alcool trône au sommet du palmarès des drogues les plus néfastes pour soi, comme pour son entourage, bien avant le tabac et le cannabis. De son côté, l'Institut national de santé publique du Québec recense environ 200 problèmes sociaux et de santé liés à l'alcool, ce qui en fait un enjeu de santé publique de premier ordre. Pancréatite, cancer de l'œsophage, épilepsie, arythmie, dépression, alouette : les maladies associées à la consommation d'alcool vont bien au-delà de la cirrhose du foie.

Mais pourquoi boit-on ? Avant la pandémie, la littérature scientifique dénombrait quatre motifs : vivre des émotions positives, faire face à l'adversité, faciliter les rapports sociaux et le conformisme social. L'année 2020 a chamboulé nos relations interpersonnelles et professionnelles, donc *de facto* notre consommation d'alcool. Si, initialement, celle-ci a diminué parce que beaucoup de gens avaient moins d'occasions de trinquer, elle aurait depuis augmenté, au même rythme que les troubles de santé mentale. Tendance inquiétante s'il en est…

Il est dans ce cas urgent de réduire ses méfaits et d'encourager une consommation à faible risque. Au Québec, il s'agit de 2 verres d'alcool par jour et de 10 par semaine maximum pour les femmes, et de 3 verres par jour et de 15 par semaine maximum pour les hommes. Mais pour des individus de moins de 25 ans ou de plus de 65 ans, de tels nombres demeurent trop élevés ; ils devraient être diminués de moitié ! Les patients âgés plus fragiles devraient même se limiter à une consommation par semaine ou s'en abstenir complètement. Et il ne faudrait jamais boire tous les jours. Cela étant dit, mettre en œuvre ces recommandations ne met pas complètement à l'abri des problèmes de santé évoqués plus haut. Fin de la leçon !

Le temps est à l'introspection. Avez-vous déjà essayé de réduire votre consommation d'alcool sans succès ? Votre entourage est-il incommodé par celle-ci ? Vous êtes-vous déjà senti coupable de boire ? Pensez-vous à l'alcool dès le réveil ? Répondre oui à deux ou plus de ces questions indique une haute probabilité de dépendance à la substance. Aller chercher de l'aide est nécessaire.

En définitive, il ne s'agit pas de vous encourager à mettre un cadenas sur votre cellier ou à vous débarrasser de vos spiritueux dans l'évier, mais plutôt de vous inciter à trouver quelles sont les raisons qui vous motivent vraiment à boire de l'alcool, si la socialisation n'est plus un catalyseur. À défaut de vider la bouteille, videz plutôt la question ! ●

Des expériences de psychologie abracadabrantes

Réaliser certains tours de magie devant un public à plumes, à poil ou à tentacules pourrait aider à comprendre la cognition animale.

Par Dominique Wolfshagen

Comment un oiseau réagit-il si, au lieu de sortir d'un chapeau de magicien, il devient spectateur du tour de magie ? Et un singe ? une pieuvre ? L'idée fait sourire, mais des chercheurs en font l'expérience le plus sérieusement du monde. C'est notamment le cas d'Elias Garcia-Pelegrin, candidat au doctorat en psychologie expérimentale à l'Université de Cambridge et premier auteur d'un article sur le sujet paru à la rubrique « Perspectives » de la revue *Science* en septembre 2020.

Il explique que, dans les tours de passe-passe, quand le prestidigitateur recourt à sa dextérité pour faire disparaître ou apparaître des objets, c'est la transgression des attentes du spectateur qui suscite la réaction (surprise, amusement, incompréhension, etc.). Mais les humains ne sont pas les seuls sur qui cela fonctionne : le Web regorge de vidéos où des animaux se font prendre et réagissent tout autant.

« Certains animaux usent de duperie entre eux, dans la nature ! Par exemple, on sait que les corvidés [famille d'oiseaux incluant le corbeau, le geai et la pie] font semblant de cacher de la nourriture quelque part quand d'autres corvidés les regardent, puis ils vont réellement la dissimuler ailleurs pendant que leurs congénères examinent la fausse cache », souligne Elias Garcia-Pelegrin, qui a déjà travaillé comme gardien de zoo et magicien. De façon similaire, des chimpanzés détournent parfois le regard de leur objet de convoitise pour ne pas attirer l'attention de leurs pairs sur l'objet en question.

Ce constat soulève plusieurs questions : quels tours de magie fonctionnent auprès de quels animaux et de quelles façons répondent-ils ? Mais surtout, quel élément du tour en assure le succès et qu'est-ce que cela enseigne sur la manière dont l'animal perçoit et décode le monde ?

Avec d'autres membres de son laboratoire, Elias Garcia-Pelegrin explorera ces questions dans les années à venir en travaillant avec les corvidés, les singes et les céphalopodes. Ces espèces sont de bonnes candidates, puisqu'elles portent attention aux manipulations des expérimentateurs en plus de pouvoir interagir avec eux. Les animaux peuvent ainsi indiquer où ils croient qu'un objet se trouve après sa disparition, ce qui permet de mettre en lumière leur raisonnement par rapport au tour de magie.

« L'utilisation du terme *magie* est récente, mais l'idée d'aller à l'encontre des attentes des spectateurs n'est pas nouvelle : on utilise des trucages de cette nature-là depuis plusieurs décennies pour étudier les animaux », mentionne Sylvain Fiset, professeur et chercheur dans le domaine de la cognition canine au campus d'Edmundston de l'Université de Moncton. Il y fait appel lui-même pour tester les limites intellectuelles du chien. Dans une récente expérience dont les résultats seront soumis pour publication prochainement, son équipe démontre que les chiens ne comprennent pas les déplacements invisibles.

Pour arriver à cette conclusion, les chercheurs ont fait rouler devant des chiens une balle dans un long tuyau transparent, mais dont la dernière section était opaque. Au lieu de chercher la balle au bout du parcours, les chiens essayaient systématiquement de la trouver là où le tuyau perdait sa transparence. Et le résultat était identique si l'on ouvrait le tuyau pour montrer au chien que la balle y circulait dans toute la longueur.

Sylvain Fiset croit que le chien n'aurait pas développé davantage certaines capacités cognitives simplement parce qu'il n'en a pas besoin ; il peut s'appuyer sur d'autres forces, comme son odorat.

Selon lui, les gens auraient tendance à surestimer l'intelligence des chiens. « C'est peut-être justement parce qu'ils sont un peu naïfs qu'ils sont agréables à avoir comme compagnons ! » note-t-il avec amusement, précisant que cela n'enlève rien à l'extraordinaire relation qu'on peut développer avec eux.

Que les scientifiques utilisent la magie pour briser nos illusions, voilà qui ne manque pas de chien ! ●

• IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM

Le Soleil a-t-il coulé le *Titanic*?

Par Charles Prémont

Le *Titanic* a sombré par une nuit sans lune, mais peuplée d'aurores boréales. Ce détail n'est peut-être pas anodin, avance une chercheuse indépendante.

Mila Zinkova a publié une nouvelle théorie sur la célèbre tragédie de 1912 dans la revue *Weather*. Selon elle, une tempête géomagnétique – une perturbation de la magnétosphère terrestre causée par le vent solaire – aurait pu nuire à la navigation et aux communications.

Les aurores boréales sont de bons indicateurs de l'intensité d'une tempête géomagnétique, car elles sont provoquées par le choc des particules chargées éjectées du Soleil avec des molécules dans notre atmosphère. Généralement, plus les aurores boréales sont observées au sud, plus les tempêtes géomagnétiques sont fortes.

Or, plusieurs officiers et passagers du paquebot ont affirmé avoir vu des aurores boréales le soir du naufrage. En connaissant la position du pôle Nord magnétique de l'époque et la latitude du *Titanic*, Mila Zinkova a pu déduire qu'une tempête géomagnétique d'une intensité de modérée à élevée avait eu lieu cette nuit-là.

« J'ai pensé que cela a pu avoir un effet sur la boussole et les instruments radio ; j'ai décidé d'investiguer », explique la chercheuse. Elle a découvert que plusieurs magnétomètres dans le monde ont été témoins d'une activité anormale cette nuit-là.

L'outil de navigation par excellence des navires de l'époque était la boussole. On sait depuis longtemps que les tempêtes géomagnétiques peuvent en altérer l'exactitude. Même une petite déviation de l'aiguille pouvait produire une erreur considérable dans le calcul de la position du paquebot.

Dans son appel à l'aide, le *Titanic* a communiqué des coordonnées inexactes sur sa position. En suivant ces indications, le bateau venant à son secours, le *Carpathia*, aurait dû manquer les canots de sauvetage d'environ 11 km. Pourtant, le *Carpathia* est miraculeusement arrivé au bon endroit, secourant les survivants. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les deux navires auraient été affectés par la tempête géomagnétique, selon Mila Zinkova. « Que ces deux bateaux aient commis ces erreurs de navigation en même temps me semble être une occurrence assez forte. »

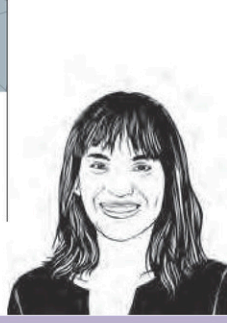
Les communications radio ont aussi été problématiques ce soir-là. Certains navires à proximité du *Titanic* n'ont pas été en mesure de capter son S.O.S., alors qu'ils étaient en mesure de communiquer avec des bateaux beaucoup plus éloignés. Ce genre de phénomène est aussi un effet connu des tempêtes géomagnétiques.

Mila Zinkova avoue qu'il demeure impossible de déterminer la part de responsabilité de la présumée tempête géomagnétique dans le malheur du *Titanic* ; trop de facteurs étaient jeu. Mais cette nouvelle théorie tente de faire un peu la lumière sur ce naufrage encore auréolé de mystère. ●

• IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM

CHLOÉ FRESLON @f_chloe

Technopop



L'antimalbouffe numérique

Cela peut paraître contre-intuitif pour une chroniqueuse techno, mais je n'aime pas changer mes habitudes technologiques. J'aime que mon ordinateur reste le même, que les boutons soient toujours au même endroit. La vérité, c'est que je vieillis et que je me plais à prendre mon temps. Depuis peu, j'ai encore plus envie que les choses aillent à mon rythme. C'est dans ce contexte que je suis tombée sur le « Web lent » (*slow Web*, en anglais).

Ce mouvement a suscité l'attention à quelques reprises au cours de la dernière décennie, mais depuis 2018, il semble être tombé dans l'oubli. Il est temps qu'on le ressuscite et qu'on se l'approprie.

Pour comprendre le Web lent, il faut d'abord comprendre ce qu'est le Web rapide : faire défiler des pages pendant si longtemps qu'on s'y perd ; cliquer sur une notification ; lire un article sans prendre la peine de réfléchir ; cliquer encore sur une notification ; consommer compulsivement vidéo après vidéo ; cliquer sur une énième notification. Pour emprunter les mots de l'écrivain Jack Cheng, c'est l'équivalent numérique du sel, du sucre et du gras. C'est la peur de rater quelque chose. C'est le besoin de savoir ce qui se passe à la minute près. Et c'est comme la malbouffe : ça nous laisse avec un sentiment de vide. Et pourtant, une demi-heure après, on recommence.

Les adeptes du Web lent laissent leurs pensées se poser après avoir lu un article, concoctent une argumentation réfléchie dans un billet de blogue, passent du temps de qualité dans un réseau social. Ils vivent le moment présent en étant pleinement conscients de ce qu'ils font.

Depuis quelque temps, j'adopte de nouvelles habitudes. Je ne commence pas la lecture d'un article à moins d'avoir la certitude de le finir. Si un onglet est ouvert depuis plus d'un mois et que je n'y ai pas navigué, je le supprime. Je n'ai aucune notification sur mon cellulaire, mis à part les messages textes. Je regarde sur YouTube des vidéos de plantes qui poussent ou des rénovations de maisons ancestrales qui s'étirent dans le temps.

Le mouvement du Web lent n'est pas qu'une question d'approche ; il se traduit également par des plateformes technologiques. Il y a HTML Energy, une communauté qui mise sur le « pouvoir du HTML » afin de montrer à quel point la création de sites Web peut être simple et directe. Il y a aussi Spire Health, un capteur se fixant sur vos vêtements et qui vous récompense lorsque vous prenez le temps de respirer profondément.

Je vous encourage à créer votre version du Web lent, à vous y ressourcer tout doucement. Faites-en un Web rassurant et apaisant. ●

JEAN-FRANÇOIS CLICHE @clicjf

Polémique

En attendant le Nobel de biologie

On sent une certaine exaspération chez les chimistes depuis quelques années. Un énervement qui les gagne toujours en automne, pendant la semaine d'octobre où sont remis les prix Nobel. Leur message est toujours le même : « On vous aime beaucoup, chers biologistes, vous faites du beau travail, mais laissez notre prix Nobel tranquille, d'accord ? »

L'automne dernier, c'est l'attribution du Nobel de chimie à Jennifer Doudna et Emmanuelle Charpentier, pour la mise au point de l'extraordinaire outil d'édition génétique CRISPR-Cas9, qui a fait tiquer certains chimistes. Aucun d'entre eux ne conteste que ces deux chercheuses méritaient cette prestigieuse distinction – la révolution technologique mise en branle par CRISPR-Cas9 est à ce point énorme qu'il était assuré qu'au moins un prix Nobel y serait rattaché. Mais ces chimistes ne sont tout simplement pas certains que ce soit vraiment… de la chimie.

Jean-François Morin, professeur de chimie à l'Université Laval, est du nombre. « Il est vrai que la chimie est au cœur de presque toutes les sciences maintenant, sauf peut-être la physique, dit-il. La biochimie, la microbiologie, tout cela revient à des processus moléculaires, alors c'est normal que dans d'autres disciplines on fasse de la chimie. Mais j'ai nettement l'impression que le Nobel de chimie est devenu une sorte de fourre-tout, en partie parce qu'il n'y a pas de prix Nobel pour la biologie [les catégories (chimie, physique, médecine ou physiologie, paix, littérature, puis sciences économiques) demeurent celles choisies en 1895 par Alfred Nobel, qui a légué une partie de sa fortune pour la création de ces récompenses]. Leurs travaux, ça reste de la chimie, bien sûr. Mais les retombées sont de toute évidence du côté de la médecine plutôt que de la chimie. Malgré tous ses mérites, CRISPR-Cas9 n'a pas révolutionné la science des liaisons entre les atomes. »

Ce n'est pas la première fois que des chimistes comme Jean-François Morin se sentent plus ou moins détroussés. En 2018 aussi ils ont sourcillé quand ils ont vu Frances Arnold, George Smith et Gregory Winter remporter le prix Nobel de chimie. Encore une fois, personne ne conteste les qualités évidentes de leurs travaux, qui consistent à domestiquer les fondements de l'évolution. Mais s'agit-il de chimie ? Frances Arnold a conçu une méthode qui utilise les principes de la sélection naturelle pour faire produire à des bactéries des enzymes particulières (soit des protéines qui accélèrent certaines réactions chimiques). George Smith a pour sa part découvert une manière de provoquer des « épidémies » dans des communautés de bactéries pour qu'elles fabriquent des protéines spécifiques. Et Gregory Winter a fait de même pour la production d'anticorps.

Ce sont toutes là des découvertes qui ont des applications très importantes en génie chimique et pour l'industrie pharmaceutique. Mais il faut admettre que s'il y avait eu un prix Nobel de biologie, c'est sans doute celui-là que ces travaux auraient valu à leurs auteurs. En tout cas, indique Jean-François Morin, « c'est sûr qu'il y a des zones grises. Il n'y a pas de limites claires entre ce qui est de la chimie et ce qui n'en est plus. […] En revanche, je trouve que, pour ce Nobel de 2018, on commence à s'en éloigner ».

Cela ne veut pas dire qu'il ne faille jamais donner ce prix aux chercheurs à l'origine de découvertes qui concernent des processus biologiques, nuance-t-il. « En 2015, le Nobel de chimie a couronné des travaux portant sur la mécanique de la réparation de l'ADN et cela, pour moi, c'était de la chimie pure. » Toutefois, à force d'étirer cette limite, on finit par dénaturer cette récompense à ses yeux.

En un sens, il est possible que tout cela soit simplement le signe que la chimie est victime de son propre succès. Pendant longtemps, les travaux des chimistes ont principalement porté sur « la matière », au sens inanimé – même s'il y a eu des travaux en biochimie dès le 19e siècle, notamment ceux de Louis Pasteur sur la fermentation. Encore de nos jours, d'ailleurs, cette discipline est souvent perçue ainsi : on l'associe plus spontanément à des procédés de fabrication en usine qu'à ce qui se passe dans une éprouvette. Mais à mesure que les connaissances se sont raffinées au 20e siècle, tant en chimie qu'en microbiologie, il est apparu évident que les êtres vivants sont littéralement des montagnes de réactions chimiques continuelles, et la frontière entre les disciplines est devenue plus floue. De ce point de vue, l'« invasion » du Nobel de chimie par la microbiologie était sans doute inévitable.

Il n'empêche : un prix Nobel de biologie pourrait être bien utile. ●

• ILLUSTRATION : VIGG

S’isoler, c’est sérieux.

Pour lutter contre la propagation de la COVID-19, on doit s’isoler quand :

- on a des symptômes
- on a passé un test
- le résultat est positif
- on revient de voyage
- on a été en contact avec un cas confirmé

Québec.ca/isolement

1 877 644-4545

Votre gouvernement

Québec

L'humain après l'humain

Et si la science-fiction nous en apprenait davantage sur l'évolution humaine?

Par Charles Prémont

• IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM

Cyborgs, mutants, voire une nouvelle espèce qui remplacerait *Homo sapiens*. De nombreux ouvrages littéraires, surtout de science-fiction, ont pensé à ce posthumain – celui qui viendra après nous. Ces œuvres peuvent-elles nous aider à mieux comprendre la manière dont nous évoluons comme espèce ? C'est la thèse que défend Élaine Després, professeure associée au Centre de recherche sur le texte et l'imaginaire de l'Université du Québec à Montréal, dans son récent livre *Le posthumain descend-il du singe ?* Une invitation à entrevoir notre future évolution. Ou serait-ce plutôt nos futures évolutions ?

Québec Science : **Pour penser l'humain du futur, nous entendons souvent parler de transhumanisme, un courant qui voit comme souhaitable l'« augmentation » de l'humain grâce aux technologies. Vous lui préférez le posthumanisme. Pourquoi ?**

Élaine Després : Le transhumanisme est une idéologie qui se réclame de l'humanisme des Lumières. Nous y trouvons cette idée d'être capables de nous transformer, de nous arracher à notre animalité, de prendre en main notre propre évolution grâce au progrès.

Le posthumanisme découle plutôt de la cybernétique, discipline fondée par le mathématicien Norbert Wiener [dans les années 1940]. La cybernétique étudie comment nous recevons de l'information de notre environnement et quelles sont les adaptations auxquelles nous procédons en retour. Ce courant ne perçoit plus l'humain comme quelque chose qui est à part, mais bien en communication avec tout ce qui l'entoure.

Le posthumanisme est donc une façon de réfléchir à ce que l'humain devient par rapport aux technologies et aux sciences qu'il met en place. Il permet de répondre à la question suivante : que veut dire être humain dans un monde où c'est nous qui modifions notre environnement et notre propre corps ?

QS **Comment le posthumanisme nous aide-t-il à mieux comprendre notre évolution ?**

ED Dès les débuts du posthumanisme, des biologistes ont contribué à la cybernétique. Ils y voyaient des éléments qui répondent à la théorie de l'évolution. Rappelons que cette discipline trouve son origine dans un principe de la thermodynamique qui dit que, naturellement, l'Univers se dirige vers une température uniforme. C'est la même chose pour l'information : l'Univers tend à se simplifier, à restreindre les échanges. C'est l'entropie.

La façon de lutter contre cette tendance, c'est de le faire localement, de créer des îlots d'entropie négative. Et pour Norbert Wiener, l'humain et le vivant en général font cela : ce sont des îlots qui se battent contre l'entropie.

Comment ? Eh bien en faisant circuler plus d'informations nouvelles, en produisant plus d'interactions, en communiquant. Prenons l'exemple de la biodiversité : les espèces sont diversifiées et s'influencent de différentes façons. Aujourd'hui, par contre, la biodiversité s'affaiblit : il y a de moins en moins d'espèces animales. C'est un effet de l'entropie. Nous savons que c'est un danger et c'est pourquoi nous souhaitons combattre ce phénomène.

Selon Norbert Wiener, l'humain est l'être de communication par excellence. Le posthumain s'appuie sur cette définition en se demandant quelles sont les implications de ce besoin de communication sur notre corps biologique et sur les technologies que nous concevons.

QS **Qu'est-ce que la littérature, et la science-fiction en particulier, peut nous apprendre sur le posthumain ?**

ED Dans les textes de science-fiction qui traitent du posthumain, la proposition des littéraires découle de la cybernétique de Norbert Wiener. Ce n'est donc pas une lubie d'écrivain : ils s'inspirent directement de la théorie scientifique.

• IMAGE : UQAM / FRANÇOIS LAPLANTE DELAGRAVE

Le posthumanisme permet un certain dépassement de l'anthropocentrisme, cette idée que l'humain est au centre et que tout le reste est autour. Ainsi, les auteurs s'intéressent à la façon dont notre environnement et nos technologies vont nous modifier culturellement et biologiquement.

Par exemple, certains romans ont repensé notre rapport aux animaux ou à l'intelligence artificielle. Cette sensibilité que nous développons envers des êtres artificiels est très courante dans la science-fiction contemporaine. Notre empathie pourrait être étendue à autre chose que l'humain. Cela nous mène à une éthique posthumaine qui repense notre rapport moral aux autres êtres, vivants ou non. D'autres ouvrages examinent ce que seraient les conséquences pour notre corps et notre cerveau si nous remplacions systématiquement nos membres par des prothèses.

Un roman que j'analyse, *Hot House*, nous projette dans un futur où les plantes auraient pris le dessus. Essentiellement, la planète Terre est devenue un grand arbre. L'auteur y pousse à l'extrême la réflexion sur notre rapport à l'environnement et sur les répercussions majeures qu'un tel bouleversement aurait sur nous.

QS Tout cela demeure de la fiction. Peut-on vraiment y voir un lien avec la science ?

ED La littérature est un moyen de transmettre des connaissances. Des chercheurs se sont penchés sur ce qu'on appelle le « darwinisme littéraire ». Ils voulaient savoir à quoi sert la littérature dans une perspective évolutionniste. L'une des réponses est que nous communiquons des connaissances en racontant des histoires.

La culture est une adaptation évolutive. L'humain n'a que très peu de moyens de défense, mais il a beaucoup d'imagination. C'est d'ailleurs ce que la plupart des romans que j'ai étudiés mettent en scène : la façon dont les humains trouvent des solutions à des problèmes qui seraient insolubles si nous mettions plusieurs générations à nous adapter.

Comme elle n'a pas les mêmes exigences méthodologiques, la littérature permet de tester des hypothèses qui sont encore hors de la portée de la science. Elle nous autorise à sortir du cadre, à faire des expériences de pensées. Cette influence de la littérature sur la science n'est pas nouvelle. On sait que Jules Verne a ainsi inspiré de nombreux ingénieurs.

QS Dans les romans que vous avez analysés, les chemins évolutifs des posthumains sont très diversifiés. Autrement dit, la façon dont les humains évoluent selon un auteur peut être radicalement différente de ce qu'imagine un autre. Comment réconciliez-vous cette imagination foisonnante avec la théorie scientifique ?

ED L'évolution, c'est d'abord une théorie qui a été énoncée par Darwin. Elle est devenue un paradigme dominant : c'est la grande théorie adoptée par la plupart des scientifiques. Mais il y en a d'autres. Plusieurs scientifiques ont proposé diverses théories de l'évolution qui racontent des histoires assez différentes.

C'est le cas de l'un des principaux théoriciens auquel je me réfère dans mon livre : Stephen Jay Gould. Pour lui, l'évolution n'est pas une longue série de microévolutions ; elle ressemble plutôt à de grands bonds provoqués par des catastrophes. Personne ne remet en cause l'idée de l'évolution des espèces. C'est plutôt une réflexion sur ses mécanismes et son fonctionnement.

QS Vous établissez trois types d'évolution humaine décrits par la littérature. Qu'est-ce que ces catégories nous apprennent ?

ED Il y a l'évolution naturelle, l'évolution dirigée et l'évolution technologique. De celles-ci, seule l'évolution naturelle fonctionne selon l'idée de la sélection naturelle.

C'est que l'humain ne cadre pas très bien dans la théorie de l'évolution. Certains penseurs considèrent que c'est parce que l'humain a externalisé ses moyens d'adaptation. Autrement dit, plutôt que d'évoluer génétiquement, nous avons imaginé des outils pour nous adapter.

La culture est une adaptation évolutive. L'humain n'a que très peu de moyens de défense, mais il a beaucoup d'imagination.

Nous agirions de la sorte depuis l'avènement d'*Homo sapiens*. Nous pouvons tout à fait dire que ce type d'adaptation fait partie de la théorie de l'évolution, mais il faut quand même reconnaître que, en termes de vitesse, de moyens et de conséquences, nous nous en éloignons considérablement.

C'est précisément ce qui m'a intéressée : le fait que l'imaginaire permet de créer « des » évolutions, alors que nous avons parfois l'impression que, dans la nature, il s'agit d'un processus linéaire… Ce n'est peut-être pas si vrai que ça !

QS Est-il l'heure d'annoncer que l'humain est mort, vive le posthumain ?

ED Certains théoriciens du posthumanisme pensent que nous assistons à la fin de l'humain. Pas dans le sens où nous dépasserions le stade d'*Homo sapiens*, mais plutôt que nous surpasserions le concept de ce qu'est un être humain d'après l'humanisme des Lumières.

Je ne pense pas que nous en soyons là. D'ailleurs, le transhumanisme se réclame de l'humanisme. La manière dont sont conçues la plupart de nos technologies aussi. Cette idée d'améliorer l'humain, de le faire progresser, c'est un principe ancré profondément dans la philosophie des Lumières.

Gardons en tête que l'humanisme a produit de très bonnes choses. Nous lui devons les chartes des droits et libertés par exemple. Celles-ci servent souvent de base aux penseurs du posthumanisme pour réfléchir à notre communauté morale, l'agrandir, voire la dépasser. Je crois qu'humanisme et posthumanisme vont cohabiter pendant encore un bon bout de temps. ●

LA FORÊT DES MAL-AIMÉS

Il est partout, à la ville et à la campagne, pourtant peu d'entre nous savent que le lichen n'est pas une plante. Cette forme de vie éclatée a beaucoup à nous apprendre.

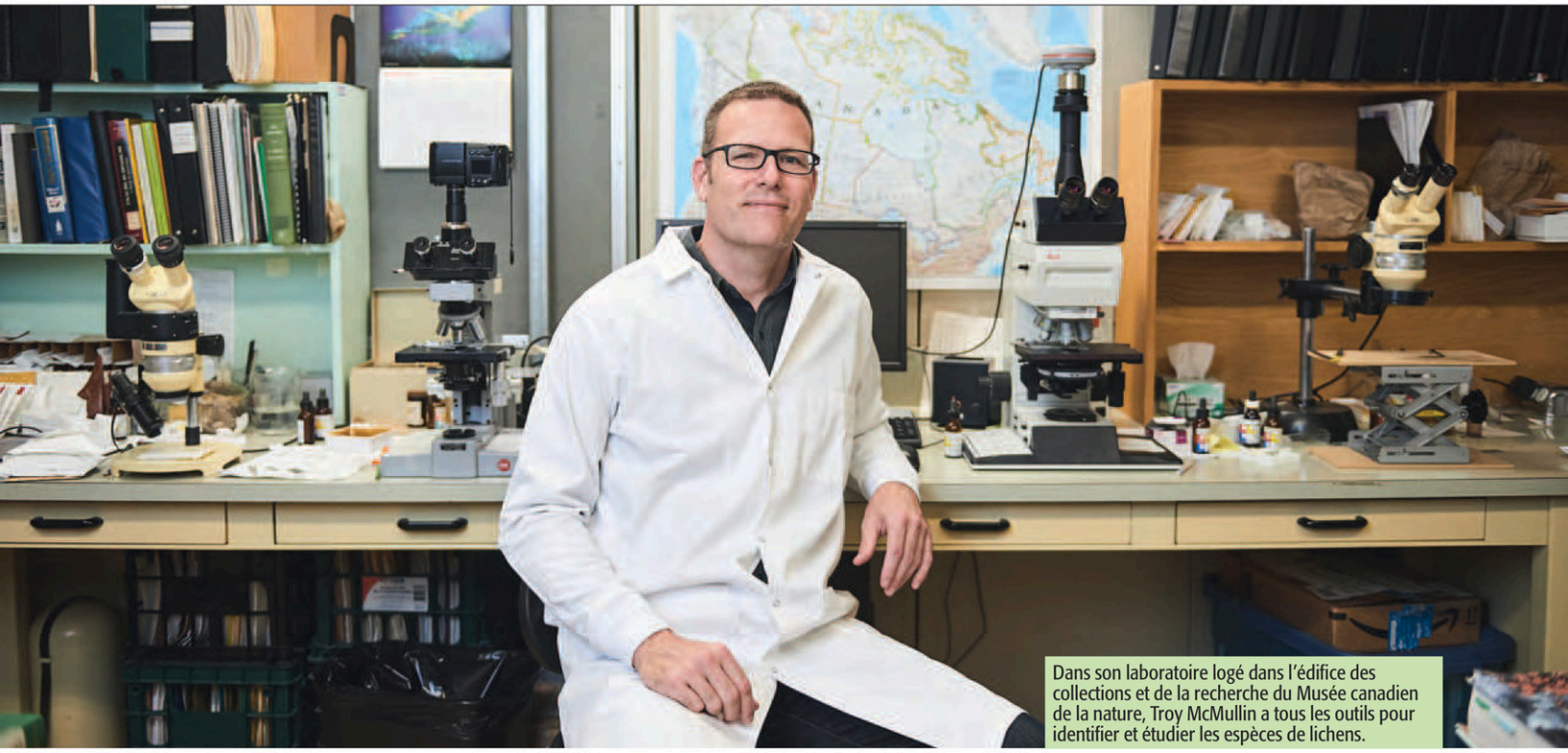
PAR MÉLISSA GUILLEMETTE
PHOTOS : JESSICA DEEKS

Deux paires de bottes de randonnée et deux sacs à dos sont appuyés contre le bureau de Marc L'Italien, où trône un ordinateur rarement utilisé. Voilà plus de 30 ans que ce garde-parc naturaliste au parc national de la Gaspésie parcourt ce territoire pour mieux l'expliquer aux visiteurs. Les questions relatives aux caribous, aux saumons et aux roches intrigantes du parc, il les a toutes entendues. Mais il admet qu'au cours de ses séances d'interprétation dans les campings, « jamais personne ne se lève pour me dire : "Vous n'avez pas parlé des lichens !" »

Pourtant, le parc est un joyau en la matière, dit-il. C'est l'endroit au pays qui abrite le plus d'espèces à l'est des Rocheuses, en raison de sa topologie, de sa géologie et de son climat particuliers. On y recense plus de 600 lichens, selon un bilan exhaustif réalisé il y a quelques années par de rares mordus au cours de deux séjours d'inventaire. Marc L'Italien

Les brins beiges qui poussent sur la roche du sentier du mont Ernest-Laforce, au parc national de la Gaspésie, appartiennent au genre *Cladonia*.

• IMAGE : MÉLISSA GUILLEMETTE



Dans son laboratoire logé dans l'édifice des collections et de la recherche du Musée canadien de la nature, Troy McMullin a tous les outils pour identifier et étudier les espèces de lichens.

se souvient de l'enthousiasme de ce groupe de scientifiques. « Ils faisaient la récolte dans la journée et les analyses le soir dans un laboratoire aménagé au sous-sol du centre de découverte et de services du parc. Ils étaient heureux comme des enfants devant une abondance de jeux ! »

Il y a de quoi ! Les lichens sont des organismes fascinants. De fait, ils sont une symbiose entre un champignon et une algue (ou plus rarement une cyanobactérie). L'union est si réussie qu'on ne trouve même plus le champignon sans sa compagne dans la nature. Sous le microscope, on croirait voir un sandwich aux vermicelles et à la luzerne. Le pain et les vermicelles sont le champignon, tandis que la luzerne est l'algue. Le premier fournit eau et protection, alors que sa partenaire produit les nutriments. Il en existe plus de 20 000 espèces ; certains lichens poussent à peu près n'importe où, même sur nos maisons, tandis que d'autres sont ultraspécialisés. Par exemple, le leptoge à grosses spores, une espèce de la Colombie-Britannique en voie de disparition, pousse uniquement sur des affleurements rocheux non acides orientés vers le sud qui ne sont pas couverts de neige trop longtemps dans l'année et qui lui fournissent de l'eau grâce à de petites rigoles sur la paroi ou par des mousses.

Les lichénologues déplorent que leur objet d'étude demeure largement boudé par la communauté scientifique : comment est-il possible d'ignorer un groupe aussi étonnant, surtout qu'il couvre sept pour cent de la surface du globe ?

COMME UNE BIBLIOTHÈQUE

C'est pour les faire connaître que le Musée canadien de la nature a organisé un concours en 2020 pour élire le « lichen national », nouvel emblème après les plus officiels castor et érable. Les candidats présélectionnés illustrent la variété des espèces : certains avaient l'air de cheveux, d'autres de plantes extraterrestres ou de coraux secs. La cladonie étoilée, qui forme des tapis gris au sol, l'a emporté. « C'est un excellent choix, opine Troy McMullin, lichénologue au Musée et l'un des passionnés qui a sillonné le parc gaspésien. Ce n'était pas le plus beau parmi nos candidats – il y en avait des plus flamboyants –, mais c'est celui qui a le plus de sens : il est très commun au Canada et c'est dans ce pays qu'il est le plus abondant. C'est aussi une source très importante de nourriture pour le caribou. »

Troy McMullin nous fait visiter la collection centenaire de quelque 160 000 spécimens sur laquelle il veille au centre scientifique et administratif du Musée, sur le chemin Pink, à Gatineau. Chaque année, plus de 2 000 spécimens arrivent de partout dans le monde pour bonifier les tiroirs des armoires métalliques où les fragments de lichens sont conservés dans des enveloppes classées par ordre alphabétique, selon le nom de l'espèce. Les lichens ont beau être sous-étudiés, des chercheurs canadiens et étrangers y font néanmoins régulièrement des emprunts, comme dans une bibliothèque. Ils les analysent grâce aux meilleures techniques, ce qui permet de tenir la collection à jour. Les plus vieux spécimens datent du 19e siècle ! « Ils sont en aussi bon état que ceux récoltés il y a 20 ans. »

Ces organismes à deux têtes peuvent être complètement secs pendant des mois, puis se remettre à vivre si les conditions sont propices, remettant en question le concept même de la mort ! « Mais généralement, après 5 ans à sec, on ne peut plus en extraire d'ADN. Et après de 5 à 10 ans, leurs couleurs deviennent plus fades. Je pense que c'est là qu'ils meurent », mentionne-t-il avant de nous montrer un spécimen du genre *Usnea* communément appelé « barbe de Jupiter » (un barbier pourrait en effet s'en donner à cœur joie). Le concept de la vie en prend aussi pour son rhume : des individus en Arctique seraient âgés de 8 600 ans…

Ça y est : Troy McMullin ouvre le tiroir du fameux lichen national. « C'est bien qu'il

• PHOTOS : JESSICA DEEKS

ait gagné, car il est facile à reconnaître dans la nature : il développe de petites têtes, comme le chou-fleur. Pour identifier correctement les autres espèces, il faut généralement faire des analyses chimiques. »

Si les lichens ne sont pas les organismes les plus populaires en recherche, c'est peut-être parce qu'ils sont complexes à étudier. Ils produisent au moins 1 000 substances qui ne se retrouvent nulle part ailleurs dans la nature. L'évaluation de leur composition se fait par chromatographie sur couche mince, une technique qui permet de séparer les composés chimiques. « On sait déjà que certains ont des propriétés antimicrobiennes [les peuples autochtones ont d'ailleurs intégré les lichens à leur pharmacopée il y a longtemps]. Dans tous les cas, les lichens méritent d'être protégés, car on ne connaît pas encore le potentiel de tous ces composés », indique Troy McMullin.

Ces substances pourraient donc éventuellement être utilisées en médecine. Elles servent déjà de teintures naturelles depuis des siècles, une pratique qui connaît d'ailleurs un retour dans le monde du tricot. Mais nous ne sommes pas les seuls à qui les lichens rendent des services. En plus de nourrir les caribous et d'autres animaux, ils jouent de multiples rôles comme aider à recoloniser les habitats détruits par le feu, fournir de la matière pour les nids d'oiseaux et recycler l'azote et le carbone.

DU PLOMB DANS L'AILE

Le lichen a beau être de bonne trempe pour survivre partout sur la planète, des forêts tropicales où l'on découvre maintenant qu'il abonde jusqu'aux latitudes les plus froides, il demeure un grand sensible. Ce sont les perturbations causées par les humains qui le gênent, comme l'exploitation forestière. La pollution l'affecte aussi énormément, d'où son surnom de canari dans la mine. C'est qu'il tire son eau (et du même coup les contaminants) directement de l'air et ne possède pas de cuticule, cette couche protectrice dont bénéficient les plantes à racines. Les concentrations de polluants dans le « corps » du lichen reflètent donc celles dans l'air. Une étude publiée en février 2020 dans *Chemosphere* a ainsi montré que le lichen témoigne bien de la présence de mercure en Nouvelle-Écosse.

Le dioxyde de soufre (SO_2), ce gaz émis par les voitures, les paquebots et l'industrie notamment, est particulièrement nocif pour le lichen. Voilà pourquoi des villes sont devenues des déserts lichéniques au cours des 19e et 20e siècles, rappelle un article paru à l'automne 2020 dans *Le Naturaliste canadien* et écrit par le directeur de l'École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional de l'Université Laval, Claude Lavoie, et des étudiants. Ils y racontent que le lichénologue finlandais Wilhelm Nylander a ainsi documenté la

COMMENT FAIRE DES BÉBÉS

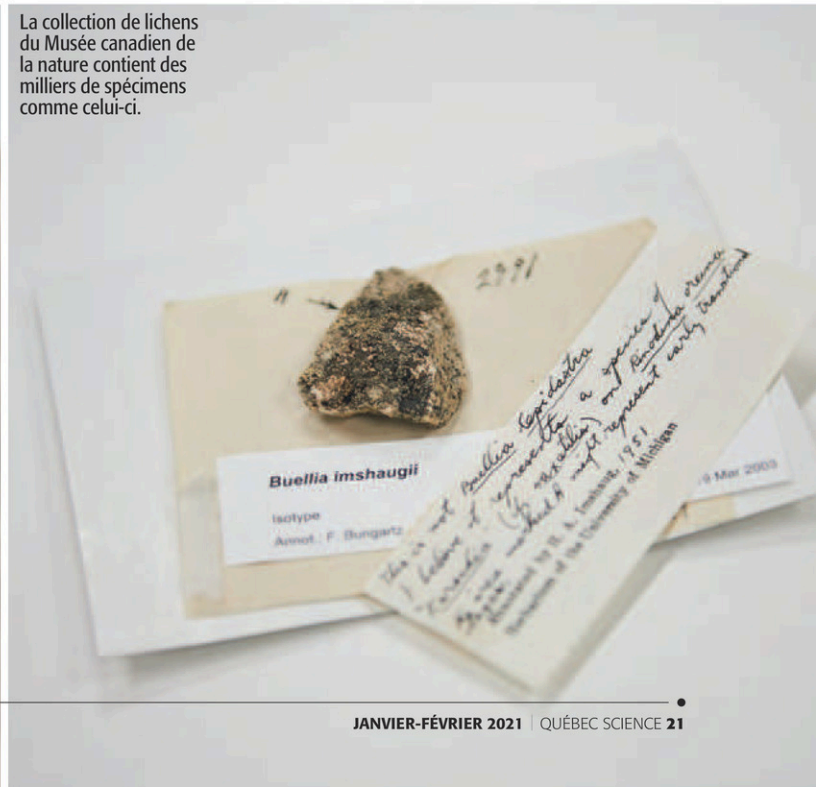
Le moins qu'on puisse dire, c'est que la reproduction du lichen est pas mal plus complexe que celle des mammifères ! « C'est un vrai fouillis : il existe une vingtaine de formes de reproduction », explique Troy McMullin, lichénologue au Musée canadien de la nature. Cela dépend de l'espèce.

Faisons un tour des modes principaux. Il y a d'abord la fragmentation : des morceaux de lichens sont brisés et transportés ailleurs, où ils s'installent pour de bon, tels de petits clones. Puis, certains lichens produisent une fine poudre. Ces grains, appelés « sorédies », contiennent l'algue et le champignon et sont disséminés dans l'environnement par le vent ou les animaux. « Contrairement à la fragmentation, ce mode de reproduction est plus intentionnel », c'est-à-dire que la poudre est produite précisément à cette fin, indique le chercheur.

Il y a ensuite la reproduction sexuée. Le lichen développe alors des structures en forme de coupole, de trou ou de ligne. Ces dernières éjectent les spores. Ces cellules de champignon devront trouver leur algue pour survivre. Les plus mesquines voleront une algue à un autre lichen.

Il faut aussi dire qu'un débat court depuis quelques années en lichénologie. Puisque des cellules d'une deuxième espèce de champignon, voire d'une troisième, se retrouvent parfois dans un spécimen, on se demande s'il s'agit vraiment d'une union à deux (incluant parfois un parasite) ou de polyamour. Bref, il faut assurément être ouvert d'esprit pour s'intéresser aux lichens.

Voici l'espèce choisie par les Canadiens comme lichen national : *Cladonia stellaris*.



La collection de lichens du Musée canadien de la nature contient des milliers de spécimens comme celui-ci.

On trouve des lichens sur toutes sortes de surfaces, même sur des os.

Ces deux jaunes se ressemblent, non ? Ce n'est pas un hasard : certains lichens sont utilisés pour teindre des textiles.

Les espèces qui poussent sur l'écorce des arbres sont appelées « corticoles ». D'autres poussent sur des bois abandonnés.

disparition des lichens des jardins du Luxembourg, à Paris, il y a plus de 150 ans. Dans la région de Québec, les quartiers centraux avaient subi le même sort en 1985 et 1986, selon les observations d'un étudiant de maîtrise à l'Université Laval.

Trente-cinq ans plus tard, la situation s'est renversée : en repassant par les mêmes lieux, le professeur Lavoie et ses étudiants ont découvert que les lichens s'étaient généralement développés et occupaient même ce qui avait été un désert. « On n'a pas été surpris parce qu'on savait qu'il y a aujourd'hui moins de pollution dans l'air qu'à l'époque [leur article précise que les concentrations de SO_2 dans l'air étaient supérieures à 10 parties par milliard dans les années 1970, contre 0,7 en 2014]. Par contre, on n'avait pas prévu le recul en périphérie. » En effet, un déclin du couvert lichénique a été noté dans un lieu d'observation sur sept, surtout dans les banlieues, qui se sont beaucoup densifiées ces dernières décennies. « On peut supposer que c'est un amalgame de plusieurs facteurs, mais on n'a pas mis le doigt sur le bobo dans cet article », dit le professeur Lavoie.

La bonne nouvelle, c'est que l'expérience fait la démonstration de l'utilité du lichen. « Si l'on veut suivre l'évolution de la qualité de l'air, on peut installer des capteurs, mais on peut aussi s'en remettre au lichen à peu de frais, souligne le biologiste. N'importe qui pourrait aller voir les troncs et évaluer la surface couverte ; même un enfant y arriverait. » Néophytes en la matière, ses étudiants ont pu ainsi apprendre à faire les relevés. Pour eux, les mots de Wilhelm Nylander, écrits en 1866, frappaient dans le mille : « Les lichens donnent à leur manière la mesure de la salubrité de l'air et constituent une sorte d'hygiomètre [indicateur] très sensible. »

Autre enjeu au Québec, et dans tout le Canada : dresser l'inventaire des espèces sur un territoire énorme. « Jean Gagnon [fonctionnaire retraité du Québec] a beaucoup fait dans le Grand Nord, mais on a moins de données sur le Moyen Nord », signale Nicole Fenton, professeure à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) et titulaire de la Chaire industrielle CRSNG-UQAT sur la biodiversité en contexte minier.

Elle est spécialiste des bryophytes, un embranchement du règne végétal qui comprend les mousses. Mais depuis environ cinq ans, elle s'est donné « la responsabilité sociale » d'étudier aussi les lichens, ces mal-aimés, dans ce Moyen Nord, comme en Eeyou Istchee Baie-James. Car sans bien connaître la distribution des espèces, il est difficile de désigner celles qui sont menacées ou de monter un dossier convaincant pour protéger certains lichens. Vous l'aurez deviné : les lichens sont sous-représentés dans les efforts de conservation à travers le monde.

À défaut de pouvoir visiter chaque mètre carré de territoire, son équipe tente d'élaborer des façons de prédire la répartition des espèces par télédétection, donc à l'aide des informations fournies par les satellites. Les paramètres dont il faudra tenir compte sont nombreux. « C'est très bizarre ; on ne parvient pas toujours à expliquer pourquoi un lichen est là et pas un autre, fait remarquer l'écologiste. C'est un vrai puzzle. On espère un jour pouvoir préciser pour une espèce donnée que, par exemple, son habitat total correspond à une zone de 500 m autour des ruisseaux. »

De façon concrète, une bonne modélisation des habitats potentiels permettrait d'orienter le développement minier entre autres. « On

• PHOTOS : JESSICA DEEKS

pourrait éviter les zones les plus riches », dit Nicole Fenton avant de se lancer dans une description passionnée des lichens en milieu humide.

En quittant le centre de découverte et de services du parc national de la Gaspésie, Marc L'Italien propose de nous indiquer où observer des lichens. Puis il se ravise : il y en a partout ! Même dans la toundra alpine du sommet des monts de la Passe et Jacques-Cartier, où les lichens, les mousses et les roches dominent les lieux, mais aussi les interventions du naturaliste. « Plus on monte, moins il y a de diversité et plus on se concentre sur ce qu'il reste ! » Là-haut, le lichen a enfin une place au soleil ! ●

L'APPARITION MYSTÉRIEUSE DES LICHENS SUR TERRE

Les lichens sont minimalistes : ils sont capables de croître même sur la roche et dans des conditions extrêmes. C'est pourquoi on estime qu'ils ont probablement compté parmi les premiers organismes à s'installer sur la terre ferme au cours de l'évolution. Ils auraient ainsi contribué à créer du terreau pour les plantes à racines, en plus de participer à la transformation de la composition de l'atmosphère dès le Néoprotérozoïque, il y a des centaines de millions d'années.

Des chercheurs américains ont remis en doute toute l'hypothèse dans un article publié dans *Geobiology* en 2019. Ils se sont tournés vers la phylogénétique moléculaire pour reconstruire l'arbre généalogique des champignons formant des lichens (les algues sont moins parlantes, car on les trouve aussi de façon indépendante dans la nature).

D'après l'analyse informatique, il existe une « forte probabilité » que les lichens soient apparus il y a environ 250 millions d'années, soit bien plus tard que les plantes vasculaires, dont on détient un fossile daté d'il y a 425 millions d'années. À moins qu'une lignée de lichens éteinte nous échappe, avouent les auteurs !

Hypogymnia apinnata vit sur la côte Ouest.

Xanthoria elegans pousse sur la roche et le béton de toutes les provinces canadiennes.

Les structures rouges de l'ophioparme venteuse sont les apothécies, qui libèrent les spores.

Le nom commun de ce lichen est « cheveux de la sorcière », tandis que son appellation scientifique est *Alectoria ochroleuca*. Ce spécimen vient de l'île de Baffin, mais on peut aussi l'observer au mont Albert.

Cladonia rangiferina aime le temps sec et le soleil direct. Il peut résister à de très grands froids.

Chaenotheca balsamconensis est une espèce décrite par Troy McMullin et sa collègue Jessica Allen en 2015. Elle profite des ravages faits par des insectes envahissants sur les conifères. Ses brins font environ deux millimètres de hauteur.

Présent au Québec, *Dimelaena oreina* est également commun dans le désert de Sonora, qui s'étend aux États-Unis et au Mexique.

Le genre *Hypogymnia* a été nommé par le lichénologue finlandais Wilhelm Nylander au 19e siècle. Il s'agit ici de l'espèce *wilfiana,* croquée à Kelowna, en Colombie-Britannique.

• IMAGES : TROY MCMULLIN

UN PAS DE GÉANT

VERS L'INFINIMENT PETIT

Une astucieuse technique de microscopie en met plein la vue aux chercheurs : elle permet d'observer les molécules en pleine action sans les altérer. De quoi repousser les frontières de la science et accélérer la découverte de médicaments, entre autres pour la COVID-19.

PAR MARINE CORNIOU

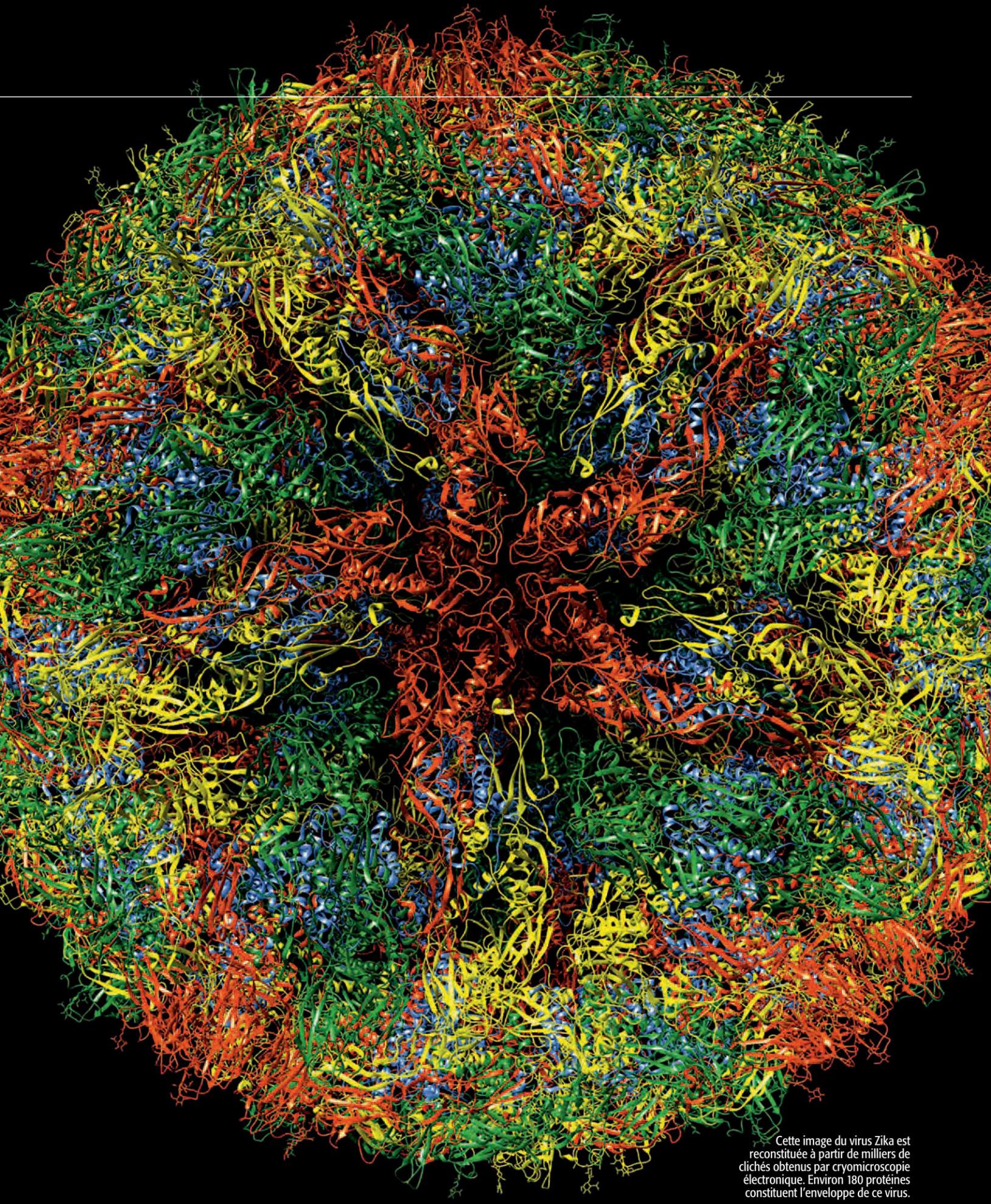
« Attendez, je vais tourner la caméra. » Joaquin Ortega, avec qui je parle sur Zoom, me montre son deuxième ordinateur. La qualité de l'image par écrans interposés laisse à désirer, mais les petits amas que pointe le biochimiste se détachent clairement sur le fond grisâtre et granuleux. « Vous voyez ? Ce sont des ribosomes, les machines de la cellule qui fabriquent les protéines, m'explique-t-il avec une pointe d'excitation dans la voix. Le microscope est en train de prendre ces photos en direct. » L'instrument en question, situé dans des locaux de l'Université McGill, est en partie automatisé et peut être manipulé à distance par le chercheur, qui est à son domicile. Une chance en ces temps de pandémie.

Pour l'œil novice, ces petites boules agglutinées pourraient aussi bien être des poussières sur la lentille que des cellules grossies par n'importe quelle loupe un tant soit peu performante. Sauf que des cryomicroscopes électroniques comme celui-ci, il n'en existe qu'une poignée dans le monde. Et ces ribosomes sont en fait 1 000 fois plus petits qu'une cellule.

C'est simple, ce type d'appareil, qui utilise un faisceau d'électrons pour photographier des échantillons biologiques figés à -180 °C, offre désormais une résolution de quelques dixièmes de nanomètre. Assez pour voir des atomes individuels au sein d'une molécule, comme l'ont démontré simultanément deux équipes, l'une allemande et l'autre britannique, au printemps 2020. « Nous avons franchi l'ultime barrière de la résolution », s'était alors félicité Holger Stark, de l'Institut Max Planck de chimie biophysique, en Allemagne, qui a dirigé l'une des études. « Cela ouvre un tout nouvel univers », commentait son concurrent britannique, Radu Aricescu, dans la revue *Nature*. Car une fois les images grises superposées et nettoyées par ordinateur, les molécules se dévoilent avec une incroyable précision, telles des pelotes de laine dont on peut voir chaque boucle, chaque fibre en trois dimensions.

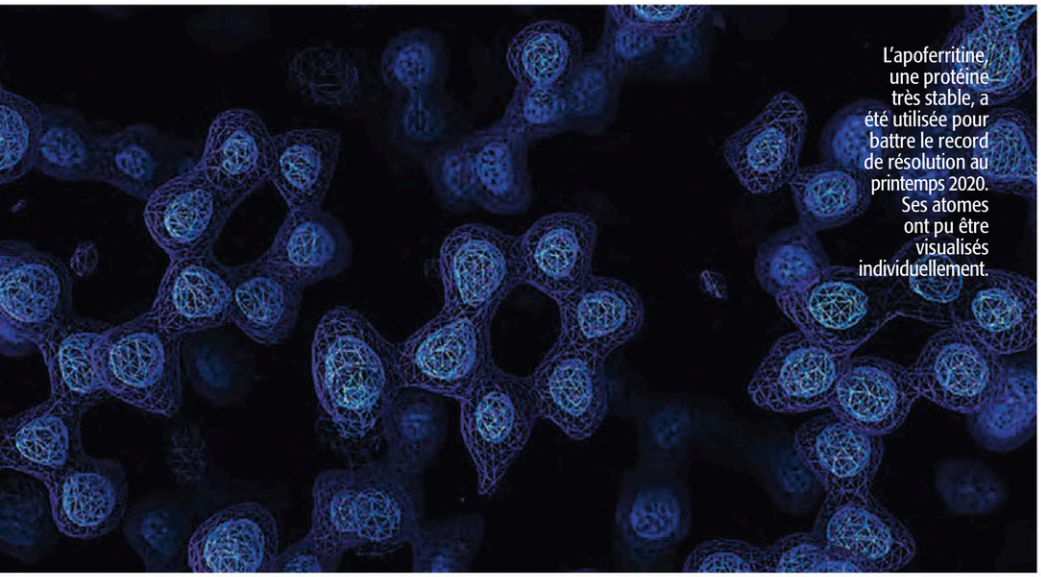
Et ce n'est pas tout : la cryomicroscopie électronique ou cryo-ME, qui a valu le prix Nobel à trois chimistes en 2017, repousse les frontières de la science en permettant de croquer ces molécules en action. Médicaments en train de bloquer une enzyme, complexes protéiques en plein assemblage, anticorps se fixant à leurs cibles ou virus attaquant une cellule : tout ou presque est désormais observable sur le vif, comme jamais auparavant. La technique, en additionnant des centaines de clichés, saisit les molécules sous tous les angles et dans toutes les orientations. « On voit la chimie en train de se faire », résume Joaquin Ortega.

À l'Université McGill, on ne cherche pas à égaler le record de la résolution atomique, mais on en est proche. « Surtout, ce cryomicroscope est le plus rapide du monde.



Cette image du virus Zika est reconstituée à partir de milliers de clichés obtenus par cryomicroscopie électronique. Environ 180 protéines constituent l'enveloppe de ce virus.

• IMAGE : WWW.VIROLOGY.WS



L'apoferritine, une protéine très stable, a été utilisée pour battre le record de résolution au printemps 2020. Ses atomes ont pu être visualisés individuellement.

Hauts de près de quatre mètres, les cryomicroscopes électroniques doivent être installés à l'abri des vibrations et des ondes électromagnétiques. Ici, le Titan Krios du Laboratoire européen de biologie moléculaire (EMBL) à Heidelberg, en Allemagne.

Il produit 8 000 images par jour, soit deux fois plus que les autres modèles, grâce à des modifications qu'on a apportées l'an dernier », se réjouit le biochimiste. C'est lui qui a supervisé, avec Mike Strauss, un collègue expert en développement technologique, les « améliorations » de cet appareil de quatre mètres de hauteur de marque Titan Krios.

La Rolls-Royce des microscopes est prise d'assaut par des équipes de recherche venant de tout l'est du Canada, qui louent ses services. (L'Université de Toronto et celle de la Colombie-Britannique ont elles aussi, depuis peu, un Krios). « C'est de la folie, assure Joaquin Ortega, directeur de l'Installation de recherche en microscopie électronique de l'Université McGill, qui possède aussi trois autres modèles de cryomicroscopes moins puissants. Et la pandémie a fait exploser les demandes. »

Car pour trouver le talon d'Achille du SRAS-CoV-2, mettre au point des vaccins ou des traitements, quoi de mieux qu'espionner directement la bête ? Dès le début de mars 2020, la technique a révélé la structure du nouveau coronavirus et ses fameuses protéines S, dressées à sa surface comme autant de harpons prêts à s'accrocher à nos cellules. Une semaine plus tard, une équipe américaine photographiait ces harpons en pleine action, s'arrimant aux récepteurs ACE2 avec 10 fois plus de force que ceux du premier virus du SRAS. Presque tous les Titan Krios de ce monde ont été réquisitionnés ces derniers mois pour la cause.

LA RÉVOLUTION

L'Université McGill a été particulièrement visionnaire en acquérant l'appareil en 2010. « Elle a acheté le troisième microscope sortant de l'usine ! » précise Joaquin Ortega. Mais à l'époque, le modèle avait beau être flambant neuf, son utilité restait limitée.

La cryomicroscopie électronique était d'ailleurs boudée, voire méprisée par la communauté scientifique. « Les autres biochimistes l'appelaient "blobologie" [le blob désigne une masse informe]. La résolution était mauvaise, les protéines avaient l'air de guimauves », se souvient Joaquin Ortega, qui travaille dans le domaine depuis 20 ans. C'est vrai qu'à côté de la cristallographie aux rayons X, technique de référence qui déduit à l'atome près les structures des

• IMAGES : PAUL EMSLEY/MRC LABORATORY OF MOLECULAR BIOLOGY ; EMBL IMAGING CENTRE

protéines en les bombardant de rayons X, la cryo-ME avait peu d'intérêt…

D'autant que les instruments sont capricieux : en plus de leur taille démesurée, les cryomicroscopes sont sensibles aux variations de température et d'humidité ainsi qu'aux ondes électromagnétiques et aux vibrations. À l'Université McGill, il a fallu construire une salle dotée d'une dalle de béton de deux mètres d'épaisseur pour isoler l'appareil des vibrations de la route.

Imaginée dans les années 1980, la technique comble les lacunes de la microscopie électronique classique, qui nécessite de déshydrater l'échantillon, ce qui l'altère considérablement. La cryo-ME consiste à congeler très rapidement le matériel à observer, comme des protéines S de coronavirus isolées, avec de l'éthane liquide. Ce faisant, l'eau présente dans l'échantillon gèle sans former de cristaux : elle se vitrifie, figeant les molécules alentour sans les endommager. L'échantillon maintenu à -180 °C est ensuite placé dans un faisceau d'électrons. Avec leur longueur d'onde bien plus courte que celle des photons, les électrons permettent de distinguer des objets beaucoup plus petits que ceux visibles avec les microscopes optiques. En traversant les molécules, les électrons sont déviés de leur trajectoire et le détecteur capte ainsi l'empreinte de ce qu'ils ont rencontré en chemin.

« Pendant longtemps, les détecteurs devaient d'abord convertir les électrons en photons, ce qui donnait des images floues. Vers 2013, des détecteurs capables de capter directement les électrons ont fait leur entrée sur le marché. Ç'a été le tournant pour la cryo-ME, ce qu'on désigne comme la révolution de la résolution ! » explique Bridget Carragher, codirectrice du centre de microscopie électronique Simons au New York Structural Biology Center (NYSBC).

Avec ses sept Titan Krios et quatre autres cryomicroscopes, le NYSBC est le plus grand centre de cryo-ME du monde. Depuis le début de la pandémie, les instruments y fonctionnent à plein régime, nuit et jour, principalement pour l'analyse d'anticorps protecteurs contre la COVID-19. Bridget Carragher s'étonne encore quotidiennement des miracles accomplis par la technologie, qui a aussi tiré profit de meilleurs logiciels d'analyse d'images. « Ces cinq dernières années ont été complètement folles pour nous, qui étions une minicommunauté nichée. »

La minicommunauté a pris sa revanche. « Aujourd'hui, c'est le jeu des chaises musicales : les spécialistes du domaine sont courtisés par les universités et les entreprises pharmaceutiques du monde entier », s'amuse Joaquin Ortega.

LE GRAAL DES BIOLOGISTES

Julien Bergeron a assisté, lui aussi, à l'explosion de la cryo-ME. Formé à Seattle en 2014 sur l'un des premiers cryomicroscopes de nouvelle génération, il est aujourd'hui chercheur en biochimie au King's College de Londres, où il partage un Titan Krios avec des collègues de deux autres universités. Son équipe travaille essentiellement sur des protéines de bactéries. Elle utilise également d'autres techniques d'observation, comme la cristallographie aux rayons X ou la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire. Toutes les deux offrent une excellente résolution, mais elles sont loin d'être parfaites (voir le tableau en p. 28).

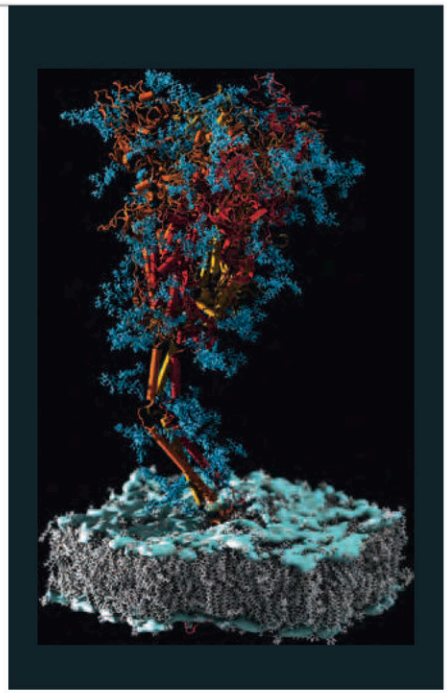
« Le problème avec la cristallographie, c'est qu'il faut d'abord forcer les protéines à

FLAGRANT DÉLIT DE MOBILITÉ

On a beau mener en laboratoire toutes sortes d'expériences, rien ne remplace l'observation directe. En particulier si elle se fait in vivo, avec une cellule ou un virus le plus intact possible. C'est ce qu'a prouvé une équipe allemande en octobre dernier en jetant un œil à la fameuse protéine S du coronavirus, non pas en l'isolant, mais en la gardant fichée dans le virus, à l'état naturel, par cryotomographie. Au total, 1 000 virions, portant chacun une quarantaine de protéines S en moyenne, ont été observés. « En regardant les images, on s'est aperçus que la tige qui relie la tête de la protéine S au virus était souvent pliée, ce qui signifie qu'elle est mobile alors qu'on la pensait rigide », explique Jacomine Krijnse Locker, de l'Institut Paul Ehrlich, qui a supervisé l'étude.

Selon les simulations numériques, les protéines S ont même trois « articulations » leur permettant de sonder leur environnement, ce qui ne semble pas exister chez d'autres classes de virus comme le VIH ou la grippe. « Cette incroyable flexibilité pourrait permettre à chaque protéine S de se lier à plusieurs récepteurs et donc d'infecter les cellules plus efficacement », avance la chercheuse.

Autre constat de l'étude publiée dans *Science* : la protéine S est « lourdement décorée de glycanes », des chaînes de sucres qui viennent s'accrocher à la structure et peuvent influencer le repliement de la protéine, sa stabilité… et sa vulnérabilité. Comme un bouclier, « les glycanes peuvent empêcher les anticorps de se fixer, cela a donc des implications pour la recherche d'un vaccin », ajoute-t-elle. Les zones à nu, accessibles aux anticorps, doivent donc être visées en priorité.



• IMAGE : INSTITUT PAUL EHRLICH

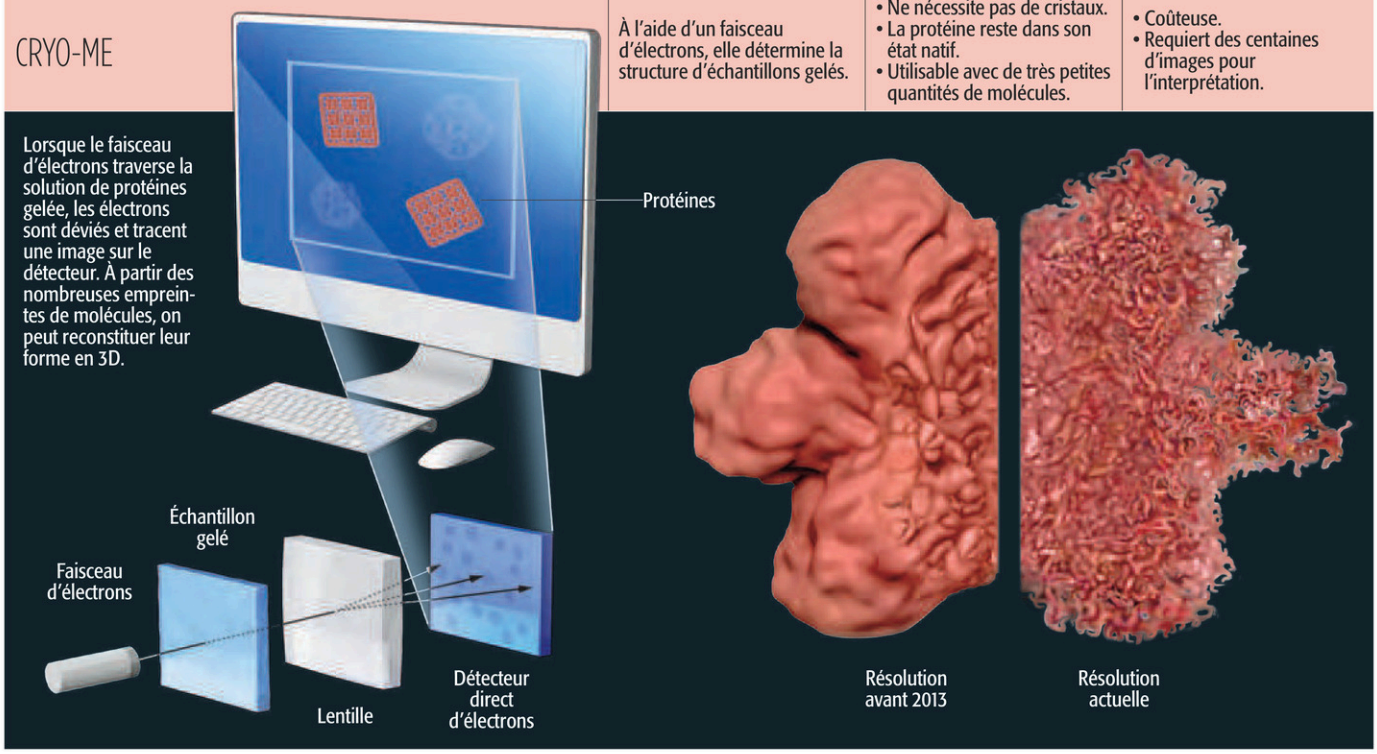
cristalliser et c'est hautement imprévisible », souligne-t-il. Certaines protéines mettent des mois à s'organiser sagement en cristaux rigides, d'autres ne se prêtent jamais au jeu. Or, seul un cristal suffisamment robuste, constitué de milliards de protéines, peut supporter les rayons X et rendre leur diffraction interprétable.

Autre inconvénient de cette approche : elle « paralyse » les protéines. Or, ces minuscules machines qui régissent toutes les fonctions du vivant sont par essence mobiles et changeantes. Dans la cellule, elles se contractent et se détendent, s'ouvrent et se ferment, s'associent en complexes multiprotéiques, changent de forme quand elles se lient à un autre composé. La cristallographie ne capture pas ce dynamisme, au contraire de la cryo-ME. « En congelant des millions de protéines, on les fige dans toutes les orientations possibles, ce qui permet de reconstituer l'image en 3D. On peut voir d'un coup les différentes conformations d'une même protéine. On peut aussi figer un antibiotique lié à sa cible, ce qui permet d'observer le détail des interactions », énumère Julien Bergeron.

Or, capter les interactions, c'est le Graal des biologistes tant pour comprendre la

LES TROIS TECHNIQUES QUI EXPLORENT LA STRUCTURE DES PROTÉINES

	PRINCIPE	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
CRISTALLOGRAPHIE AUX RAYONS X	Les rayons X aident à déterminer la structure en trois dimensions d'un cristal de protéine (90 % des structures de protéines connues ont été dévoilées par cette méthode).	• Résolution atomique. • Peu chère. • Fonctionne pour les grosses molécules.	• Certaines protéines ne cristallisent pas. • Demande de grandes quantités de molécules. • Analyse statique.
SPECTROSCOPIE DE RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE	Elle exploite les propriétés magnétiques de certains noyaux d'atomes pour déduire la géométrie de la molécule.	• Ne nécessite pas de cristaux. • La protéine reste dans son état natif.	• Limitée aux très petites protéines. • Demande de grandes quantités de molécules.
CRYO-ME	À l'aide d'un faisceau d'électrons, elle détermine la structure d'échantillons gelés.	• Ne nécessite pas de cristaux. • La protéine reste dans son état natif. • Utilisable avec de très petites quantités de molécules.	• Coûteuse. • Requiert des centaines d'images pour l'interprétation.



• ILLUSTRATION : MICHEL ROULEAU • ADAPTÉ DE WWW.CREATIVE-BIOSTRUCTURE.COM

fonction des molécules que pour concevoir de meilleurs traitements. « Cela permet d'entrevoir des applications incroyables, notamment pour cribler des médicaments et sélectionner ceux qui se fixent au bon endroit », poursuit le chercheur.

DES MÉDICAMENTS, PLUS VITE !

La cryo-ME permet ainsi de visualiser les cibles les plus accessibles pour les médicaments, c'est-à-dire les protéines situées à la surface des cellules, quasi impossibles à examiner autrement, car elles cristallisent mal. Elles représentent 60 % des cibles thérapeutiques, mais elles ne constituent que 2 % des milliers de protéines dont la structure a été dévoilée jusqu'ici par la cristallographie aux rayons X. Depuis quelques mois, on ne compte plus les publications scientifiques qui livrent enfin les secrets des protéines de surface grâce à la cryo-ME !

Plutôt que de tester à l'aveugle des dizaines de milliers de molécules pour repérer lesquelles peuvent déjouer un agent pathogène ou une cellule cancéreuse par exemple, la cryo-ME permet de faire le chemin inverse : partir de la structure de la molécule cible, trouver le site d'accrochage ou les atomes avec lesquels on souhaite interférer et restreindre ainsi la recherche aux composés thérapeutiques les plus adaptés. « Beaucoup de modifications chimiques et de cycles de tests sont nécessaires avant qu'une molécule soit déclarée suffisamment prometteuse pour être testée chez l'humain, indique Mazdak Radjainia, gestionnaire du programme Cryo-EM Pharma chez Thermo Fisher Scientific, l'entreprise qui fabrique les Titan Krios et qui détient le quasi-monopole du marché. Connaître sa structure permet de raccourcir cette phase. »

Ce n'est donc pas pour rien que l'industrie pharmaceutique a sauté, elle aussi, dans le train de la cryo-ME. Une quinzaine d'entreprises, dont Merck, Novartis et Pfizer, se sont déjà dotées de leurs propres supermicroscopes. Elles y voient un moyen de gagner temps et argent. « Même si la technologie est très récente et que la découverte de médicaments prend du temps, la cryo-ME a déjà contribué à pousser de nouvelles molécules vers des essais cliniques », témoigne Mazdak Radjainia.

C'est le cas, entre autres, du vaccin contre la COVID-19 mis au point par Pfizer et BioNTech et du cocktail d'anticorps de Regeneron, administré à Donald Trump. La cryomicroscopie électronique a aussi aidé à élaborer un traitement expérimental contre la leishmaniose, une maladie parasitaire qui tue jusqu'à 40 000 personnes par année, et à enfin comprendre comment l'insuline se lie à son récepteur, ce qui pourrait un jour améliorer les traitements contre le diabète. Le cancer et les maladies neurologiques, dont l'alzheimer, sont également dans la ligne de mire des cryomicroscopistes.

L'entreprise québécoise Medicago, elle, a recouru au Titan Krios de l'Université McGill pour s'assurer que ses copies inoffensives du virus SRAS-CoV-2 qu'elle utilise en guise de vaccin avaient bien la forme sphérique requise, hérissée de protéines S. « Medicago était prioritaire : en moins d'une journée, on fournissait à l'équipe des centaines de clichés pour qu'elle puisse améliorer le produit », mentionne Joaquin Ortega.

L'imagerie moléculaire donne aussi un coup de pouce à la recherche de nouveaux antibiotiques, qui intéresse peu l'industrie, mais se poursuit dans les instituts publics. « La plupart des antibiotiques bloquent les ribosomes des bactéries pour les empêcher de fabriquer leurs protéines. Nous étudions la façon dont ces ribosomes s'assemblent – ils sont constitués de 50 morceaux différents – pour tenter de stopper en amont leur assemblage », dit Joaquin Ortega, qui décortique, image après image, cette machinerie complexe dans différentes bactéries.

DÉMOCRATISATION

Aussi révolutionnaire soit-elle, la cryomicroscopie électronique est encore loin d'être la panacée. D'abord, les microscopes sont hors de prix. Ils coûtent sept millions de dollars à l'achat, mais il faut ensuite ajouter des milliers de dollars par jour de fonctionnement en maintenance, électricité, personnel… Sans compter les frais nécessaires à l'aménagement, voire la construction d'un local adapté. « Notre budget annuel est de 1,6 million de dollars. Tout le monde veut avoir accès à la cryo-ME, mais la technique n'est accessible qu'aux universités les plus fortunées », déplore Joaquin Ortega.

La préparation des échantillons, elle aussi, reste épineuse. « C'est encore un frein considérable, les protéines se cassent parfois, refusent de se placer en couches fines… Énormément d'efforts sont déployés en ce moment pour automatiser davantage la prise de photos et la préparation des échantillons », fait remarquer Bridget Carragher. Elle mise aussi sur l'intelligence artificielle, qui devrait faciliter le traitement des centaines d'images obtenues à chaque prise de vue. Un programme d'intelligence artificielle conçu par Google AI a d'ailleurs démontré, le 30 novembre dernier, sa capacité à prédire la structure des protéines à partir de leur simple séquence d'acides aminés. Pas de quoi s'affranchir d'une visualisation en bonne et due forme pour l'instant, mais de quoi accélérer sans aucun doute la connaissance du monde du vivant.

Entretemps, Richard Henderson, l'un des pionniers du domaine à l'Université de Cambridge et lauréat du prix Nobel de chimie en 2017, s'est mis en tête de démocratiser la cryo-ME et travaille à la conception d'un appareil tout aussi performant que le Krios, mais plus compact, moins cher et moins gourmand en énergie. « Je pense qu'il va y arriver : quand cet homme dit quelque chose, il le fait, se réjouit Joaquin Ortega. Ce sera vraiment une avancée majeure. »

Le prochain défi consiste à observer directement ce qui se passe dans la cellule au lieu d'isoler les protéines à étudier, affirment d'une seule voix tous les experts interrogés. « Cela commence à être possible – c'est ce qu'on appelle la cryotomographie. On retire une bonne partie de l'épaisseur de la cellule et l'on fait bouger le spécimen pour prendre des images sous différentes inclinaisons, explique Bridget Carragher. Mais il reste encore beaucoup de travail pour améliorer la résolution et réussir à interpréter ce qu'on voit ! »

Julien Bergeron partage cet enthousiasme : quel biologiste ne rêve pas d'espionner directement l'intérieur d'une cellule ? « Le potentiel est absolument immense. Ça va être difficile, mais excitant ! » Après des décennies de blobologie, la cryo-ME est sans aucun doute promise à un bel avenir. ●

aux récipiendaires

La FCI est fière de soutenir la 28e édition des découvertes de l'année et d'adresser ses sincères félicitations aux récipiendaires!

INNOVATION.CA

CANADA FOUNDATION FOR INNOVATION | FONDATION CANADIENNE POUR L'INNOVATION

10 DÉCOUVERTES DE L'ANNÉE

Vivante, diversifiée, surprenante : voilà comment nous pourrions décrire en quelques mots la recherche au Québec. Chaque année, nos chercheurs signent plus de 17 000 articles scientifiques. Il y a de quoi être fier. Et il y a de quoi célébrer. Surtout au terme d'une année singulière, qui a vu la pandémie propulser la science sur le devant de la scène.

Comme le veut la tradition depuis 28 ans, nous avons lancé un appel aux scientifiques québécois afin qu'ils nous soumettent des études qui, selon eux, se sont démarquées récemment. Notre jury, composé de scientifiques et de journalistes, a examiné les propositions reçues et a sélectionné 10 découvertes particulièrement remarquables. Fait à noter : la COVID-19 ne s'est pas invitée dans notre palmarès, puisque plusieurs études sont toujours en cours. À suivre en 2021.

Quels sont nos critères ? Chaque découverte doit avoir été publiée dans une revue savante avec comité de lecture entre le 1er octobre 2019 et le 31 octobre 2020. Il doit s'agir d'une percée ou d'une avancée majeure dans un domaine de la recherche fondamentale ou appliquée. Et, bien sûr, la découverte doit nous impressionner, tant par ses résultats et sa méthodologie que par ses retombées potentielles. Voici donc notre sélection !

Un dossier coordonné par Joël Leblanc.

Notre jury

Sophie Breton, de l'Université de Montréal ; Amélie Daoust-Boisvert, de l'Université Concordia ; Robert Lamontagne, du Centre de recherche en astrophysique du Québec ; Isabelle Marcotte, de l'Université du Québec à Montréal ; Mathieu Picard, de l'Université de Sherbrooke ; Benoît St-Jacques, de l'Institut de recherche en immunologie et en cancérologie de l'Université de Montréal ; et l'équipe de *Québec Science* : Marine Corniou, Mélissa Guillemette, Marie Lambert-Chan et Joël Leblanc.

Votez pour votre découverte préférée et courez la chance de remporter un prix. Détails à la page 72.

• IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM

Mercure mortel

L'exposition prolongée au mercure augmente la mortalité précoce. Ce lien est clairement montré dans une étude menée en collaboration avec la communauté autochtone de Grassy Narrows.

Par Martine Letarte

Autrefois, dans la communauté autochtone de Grassy Narrows, dans le nord-ouest de l'Ontario, le poisson était bien plus qu'un simple aliment ; il était au cœur de la culture et des traditions. Il constituait aussi un gagne-pain, alors que de riches Américains se posaient sur le territoire en hydravion pour pêcher dans leurs luxueuses pourvoiries. La communauté vivait confortablement, les jeunes commençaient à fréquenter l'université, puis tout s'est écroulé lorsqu'on a découvert en 1970 que la papetière Dryden Chemical avait déversé plusieurs tonnes de mercure dans la rivière Wabigoon pendant la décennie précédente. Tout le réseau hydrographique du secteur et ses poissons ont été contaminés. Les gens aussi. Cette catastrophe aura finalement tout détruit à Grassy Narrows.

« Lorsque j'ai appris que le gouvernement de l'Ontario avait des données d'exposition au mercure non seulement pour l'environnement et les poissons, mais aussi pour les membres de la communauté grâce à des échantillons de cheveux, de sang et de cordons ombilicaux prélevés entre 1970 et 1997, je me suis dit que ce serait bien d'étudier les effets à long terme de cette exposition », raconte Donna Mergler, neurophysiologiste et professeure émérite de l'Université du Québec à Montréal (UQAM).

Des traces de mercure peuvent être trouvées dans les cheveux, où il s'accumule. L'Organisation mondiale de la santé estime qu'une concentration supérieure à 1 à 2 microgrammes (µg) par gramme de cheveux comporte des dangers. Selon l'analyse de l'équipe de Donna Mergler, un membre de la communauté de Grassy Narrows avait 55 % plus de risques de mourir avant l'âge de 60 ans si une concentration de 15 µg/g avait été atteinte au moins une fois au cours de sa vie. En fait, la longévité a diminué d'un an pour chaque augmentation de 6,5 µg/g. Ces conclusions ont été publiées dans *The Lancet Planet Health* en avril dernier.

Pour arriver à ces résultats, l'équipe a analysé 3 603 mesures de concentration de mercure faites sur 319 femmes et 338 hommes de Grassy Narrows. « Ces gens avaient été testés de manière régulière pendant 27 années, ce qui nous permettait de voir l'évolution des biomarqueurs », explique Aline Philibert, épidémiologiste et chercheuse en santé et environnement à l'UQAM, qui a participé à l'étude.

En travaillant avec le conseil de bande, qui collecte les données sur les naissances et les décès dans sa communauté, les chercheuses ont utilisé différentes approches méthodologiques et statistiques. « Toutes ces approches ont mené à la conclusion que les décès prématurés sont liés à une contamination au mercure de longue durée », précise Aline Philibert en soulignant que les effets bénéfiques de la consommation de poissons d'eau douce, notamment en raison de leurs oméga-3 différents de ceux des poissons marins, ne contrebalancent pas les effets néfastes du mercure.

« On sait que l'espérance de vie chez les gens des Premières Nations est d'environ 10 ans de moins que chez les non-Autochtones, mais on ne connaît pas le rôle que jouent les polluants environnementaux dans cet écart, affirme Donna Mergler. Grassy Narrows n'est pas la seule communauté autochtone à vivre avec des niveaux de polluants élevés. Il serait important de faire ce genre d'études dans les autres communautés. »

Le travail n'est pas terminé non plus à Grassy Narrows. Les chercheuses et d'autres spécialistes de la santé y retourneront dès que la situation sanitaire le permettra afin de poursuivre l'évaluation des conséquences de l'exposition au mercure sur la santé, par exemple sur le développement de maladies chroniques. Le gouvernement de Justin Trudeau a promis de construire un centre de santé dans la communauté pour mieux traiter les maladies provoquées par une exposition prolongée au mercure.

Ont aussi participé à l'étude : Myriam Fillion, professeure-chercheuse au département Science et technologie de l'Université TÉLUQ, et la communauté de Grassy Narrows.

L'avis du jury

Voilà une superbe analyse effectuée à partir d'une quantité impressionnante de données. Cette étude rappelle à quel point il est important de suivre à long terme les communautés bouleversées par des catastrophes environnementales. Enfin, c'est un bel exemple de collaboration entre les Autochtones et les scientifiques.

De gauche à droite, les chercheuses Myriam Fillion, Donna Mergler et Aline Philibert.

• PHOTO : DONALD ROBITAILLE

DIABÈTE ET MICROBIOTE

Des bibites à sucre en cavale

La table est mise pour de nouvelles approches cliniques du diabète de type 2 grâce à la découverte d'une signature bactérienne spéciale dans certains organes des diabétiques.

Par Dominique Wolfshagen

L'expression « bibite à sucre » prend désormais tout son sens : les microbes présents dans notre système digestif pourraient jouer un rôle crucial dans le diabète de type 2, ce qui améliorerait notre compréhension autant du mécanisme déclencheur de la maladie que de la façon de la soigner.

Mais un instant ! Ne savait-on pas déjà que les populations microbiennes différaient entre une personne diabétique et une personne normoglycémique (avec un taux de sucre normal dans le sang) ? Oui, on savait que la maladie entraînait des changements du microbiote intestinal ; par contre, on ignorait ce qu'il en était ailleurs dans le corps, dit Fernando Forato Anhê, titulaire d'un doctorat de l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec et premier auteur de l'article qui rapportait la découverte en mars dernier dans la revue *Nature Metabolism*.

Car même si l'intestin constitue une barrière robuste contre l'intrusion de microorganismes dans notre corps, cette protection n'est pas sans faille. On parle de « translocation » lorsque des agents microbiens parviennent à franchir cette frontière et à pénétrer dans l'organisme. Quelques bactéries – entières ou en morceaux – ont alors le temps d'aller se cacher dans d'autres tissus avant que le système immunitaire les rattrape. Ce sont les traces de ces intrus qu'ont étudiées les chercheurs.

Les mailles du filet seraient d'ailleurs encore plus grandes chez les personnes obèses, un état qui prédispose au diabète de type 2. Et c'est justement dans d'autres composants du corps – le plasma, certaines couches de gras et le foie – que l'équipe de l'Université Laval a découvert des signatures bactériennes très différentes entre les personnes obèses diabétiques et les personnes obèses normoglycémiques. Autrement dit, les diabétiques ont certaines variétés de bactéries en certaines proportions à divers endroits dans le corps et ces profils se distinguent nettement de ceux des individus non diabétiques.

Les chercheurs se demandent toutefois si c'est la translocation anormale d'agents bactériens qui déclenche le diabète ou si, à l'inverse, c'est le diabète qui influence les populations bactériennes.

« C'est l'œuf ou la poule ! Honnêtement, je pense que les deux mécanismes sont présents, mais que la translocation partirait le bal. Ce serait elle qui engendrerait l'inflammation locale associée au diabète de type 2, puis, une fois la maladie déclarée, la barrière intestinale se fragiliserait davantage, ce qui permettrait le recrutement d'encore plus de bactéries et cela créerait un cercle vicieux », explique André Marette, professeur à la Faculté de médecine de l'Université Laval.

Fernando Forato Anhê, aujourd'hui chercheur postdoctoral à l'Université McMaster, en Ontario, estime que « c'est un tournant dans la recherche sur le diabète de type 2. Les signatures microbiennes pourraient par exemple servir de biomarqueur précoce pour détecter le diabète avant même l'apparition des symptômes ! »

En outre, les chercheurs croient que, à l'avenir, les traitements du diabète de type 2 pourraient inclure les probiotiques (apport de microorganismes bénéfiques), les prébiotiques (apport de nutriments favorisant la croissance des microorganismes bénéfiques) ou encore le dernier venu, les

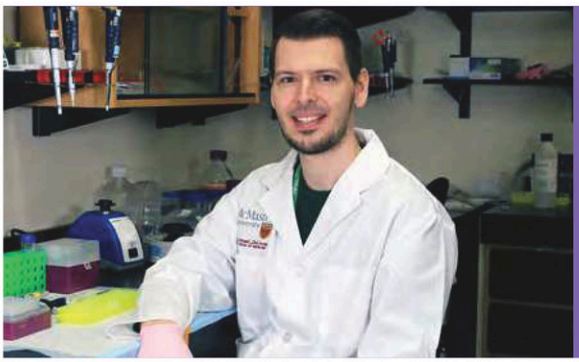
L'avis du jury

À entendre parler du microbiote depuis maintenant plusieurs années, on pourrait penser que la science a fait le tour de la question. Or, ces chercheurs ont réussi à nous surprendre. Il existe tout un monde en dehors de l'intestin et des bactéries réussissent à s'y faufiler. Étonnant !

postbiotiques (apport de fragments bactériens ayant un effet bénéfique).

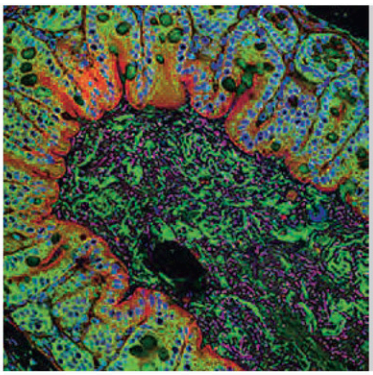
« Notre article ouvre la voie à une explosion de recherches dans les années à venir, mais il va falloir beaucoup d'efforts et plusieurs autres équipes pour étudier autant de possibilités. J'en perds des heures de sommeil tellement j'ai hâte de commencer les tests ! » s'enthousiasme le professeur Marette. ●

Ont aussi participé à cette découverte : Thibault V. Varin, Denis Richard, Simon Marceau, Laurent Biertho et André Tchernof, de l'Université Laval, ainsi que des chercheurs de l'Université McMaster, de l'Université de Copenhague (Danemark) et de la société de biotechnologie française Vaiomer.



Fernando Forato Anhê, titulaire d'un doctorat de l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec et premier auteur de l'article qui rapportait la découverte en mars dernier dans la revue *Nature Metabolism.*

André Marette, professeur à la Faculté de médecine de l'Université Laval.



Voici une tranche fine d'un côlon de souris vue sous le microscope. Son apparence est anormale en raison d'un état inflammatoire semblable à celui qu'on observe dans les cas d'obésité sévère. Dans cette image, les bactéries (en rose violacé) associées au mucus (en vert) dans l'intestin empiètent sur la paroi du côlon. Elles sont à proximité des cellules épithéliales (en rouge, et leurs noyaux sont marqués de bleu). Normalement, la couche de mucus est plus épaisse et forme une barrière naturelle entre les cellules épithéliales de l'intestin et les bactéries. Dans cet exemple, l'intégrité intestinale est réduite et les bactéries (ou des fragments de celles-ci) peuvent franchir la barrière et éventuellement atteindre les tissus adipeux et le foie.

• IMAGES : UNIVERSITÉ MCMASTER ; ANDRÉ MARETTE ; CLAUDE MATHIEU

PORTES OUVERTES : 6 FÉVRIER 2021

INRS

Institut national de la recherche scientifique

Apprendre Innover Rayonner par la recherche

Maîtrises et doctorats

Stages d'été - 1er cycle

INRS.CA

SÉDIMENTOLOGIE ENVIRONNEMENTALE

La mémoire d'un lac

L'avis du jury

Cette étude démontre que la recherche ne consiste pas seulement à observer ce qui est devant nous ; il faut aussi savoir « faire parler » les données. Et dans ce cas-ci, les chercheurs ont réussi un tour de force : faire parler des sédiments pour raconter 2 900 ans d'histoire avec une fine précision.

Fin avril 2015, l'équipe atterrit au lac South Sawtooth pour entreprendre deux semaines de travaux de recherche.

François Lapointe tenant dans sa main une lame mince montrant des sédiments annuellement laminés. Plus d'une centaine de ces lames ont été nécessaires afin de déterminer les conditions climatiques des 2 900 dernières années.

Des sédiments au fond d'un lac de l'Arctique ont permis de remonter le temps. Ils révèlent le climat des trois derniers millénaires avec une précision inégalée.

Par Joël Leblanc

François Lapointe se souvient de cette première fois où il a goûté au silence. Le Twin Otter qui venait de les déposer, ses collègues et lui, sur un lac gelé du Nunavut disparaissait dans le ciel éclatant du printemps polaire. « C'était comme arriver sur la Lune, relate celui qui était alors candidat au doctorat en sédimentologie à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS). On était parmi les très rares humains à passer par là. »

« Là », c'est le lac South Sawtooth, sur l'île d'Ellesmere, à 1 200 km du pôle Nord. Le but de l'expédition, qui s'est déroulée en 2012 : prélever une carotte de sédiments au fond du petit lac – il ne fait que 2,6 km^2 – afin d'y chercher les indices des variations de la température de l'Atlantique au cours des derniers millénaires. Rien de moins.

Des mesures prises par les navires qui traversent l'Atlantique depuis 1856 ont montré que sa surface alterne entre des phases chaudes et d'autres froides. On parle de variations de l'ordre de un degré Celsius selon un cycle de 40 à 80 ans. « Comme on a à peine 165 ans de données, on ignorait s'il s'agit d'un phénomène ancien ou récent », expose François Lapointe.

Mais pourquoi chercher la réponse au fond d'un lac lointain ? « Il est parmi les rares lacs du monde où les sédiments qui s'amoncellent depuis des millénaires forment de fines couches annuelles parfaitement distinctes qu'on appelle des varves, explique Pierre Francus, professeur à l'INRS et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en sédimentologie environnementale. Environ 1 lac sur 10 000 présente cette particularité. »

Chaque année, en été, le lac South Sawtooth est dégelé pour quelques semaines. Sis au creux d'une cuvette dans les montagnes, il récolte alors l'eau provenant de la fonte des neiges, qui entraîne

• IMAGES : FRANÇOIS LAPOINTE ET PIERRE FRANCUS

avec elle des particules du sol rocheux autour. Celles-ci aboutissent au fond du lac, qui fait jusqu'à 80 m de profondeur. Puis, le lac se cloître à nouveau sous la glace jusqu'au printemps suivant. « Les varves s'accumulent comme les cernes dans le bois d'un arbre, compare Pierre Francus. Mais il est beaucoup plus facile de couper un arbre que d'extraire une carotte de sédiments ! »

La méthode est simple, bien qu'éreintante. Après avoir percé un trou dans la glace, on fait descendre jusqu'au fond du lac un tube d'environ 1,5 m de long, surmonté d'un poids. Un câble permet de remonter ce poids à la force des bras pour le laisser retomber sur le sommet du tube. Quand ce dernier est complètement enfoncé à la verticale dans les sédiments, on le remonte avec son contenu pour lui ajouter une autre section de 1,5 m et le renvoyer poursuivre la collecte. « Pour avoir les sédiments les moins perturbés, on a travaillé dans la partie la plus profonde du lac, précise François Lapointe. On a réussi à remonter une carotte de sédiments d'environ 6 m. » Elle couvre 2 900 ans d'histoire !

De retour au Sud, les chercheurs ont ausculté leur trésor. Ils ont notamment calculé la concentration de titane dans chaque strate. « Le titane est naturellement présent dans les roches qui entourent le lac, indique Pierre Francus. Quand les hivers sont plus froids, donc plus neigeux, l'eau dévale en plus grandes quantités les pentes durant l'été et ainsi plus de titane atteint le lac. La quantité de titane est un indice de l'intensité du froid pour un hiver donné. »

Après avoir validé leur méthode grâce à différents indicateurs, ils ont publié leurs résultats dans le journal *Proceedings of the National Academy of Sciences* en octobre 2020. On y apprend que non seulement les variations de température mesurées dans l'Atlantique depuis 165 ans sont bien attribuables à un cycle, mais que ce cycle existe depuis au moins 2 900 ans.

Les données montrent également que l'augmentation des températures du dernier siècle est unique depuis trois millénaires. L'influence humaine sur le climat est inscrite même au fond d'un petit lac arctique. ●

Ont aussi participé à cette découverte : Arnaud de Koninck, Thibault Lamarre et Guillaume St-Onge, de l'Université du Québec à Rimouski, ainsi que des chercheurs des États-Unis.

LE MICRO AU CŒUR DE NOS RECHERCHES

L'infiniment petit mène à de grandes découvertes

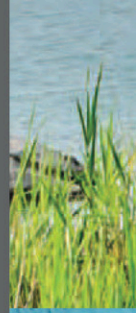
Que ce soit dans le corps humain ou dans les océans, les chercheurs lèvent le voile sur les secrets de certains microorganismes.

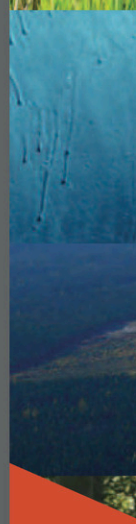
Félicitations à Achim Randelhoff et Fernando Forato Anhê ainsi qu'aux équipes de recherche des professeurs Marcel Babin et André Marette pour leurs découvertes.

ulaval.ca/recherche

Ville de Québec

UNIVERSITÉ LAVAL





CANADA'S TOP 50 RESEARCH UNIVERSITIES 2019 RE$EARCH Infosource Inc.

L'UQAT, un environnement **privilégié** pour la recherche appliquée, collaborative et fondamentale en sciences naturelles

- Un volume de recherche annuel global **de plus de 10,5 M$**
- Un milieu de recherche exceptionnel situé **au cœur même du biome boréal**
- Des **partenariats** de recherche uniques
- De nombreuses participations à des **regroupements** nationaux et internationaux de recherche
- Des Instituts de recherche hautement **performants**

L'UQAT s'est classée au premier rang au Canada en matière d'intensité de recherche par professeur parmi les universités canadiennes de la catégorie des universités à vocation générale, excluant les universités avec faculté de médecine et celles à vocation unique, selon le palmarès 2017, 2018 et 2019 de la firme indépendante RE$EARCH Infosource Inc.

INSTITUT DE RECHERCHE SUR LES FORÊTS (IRF)

uqat.ca/IRF

INSTITUT DE RECHERCHE EN MINES ET EN ENVIRONNEMENT (IRME)

uqat.ca/IRME

5 chaires de recherche du Canada

ÉCOLOGIE ET AMÉNAGEMENT FORESTIER DURABLE

VALORISATION, CARACTÉRISATION ET TRANSFORMATION DU BOIS

INTÉGRATION DE L'ENVIRONNEMENT DANS LE CYCLE DE VIE D'UNE MINE

TRAITEMENT DES EAUX MINIÈRES CONTAMINÉES

RETRAITEMENT DES REJETS MINIERS

3 chaires de recherche industrielles CRSNG

SYLVICULTURE ET PRODUCTION DE BOIS

RESTAURATION DES SITES MINIERS

BIODIVERSITÉ EN CONTEXTE MINIER

4 chaires de recherche institutionnelles

AMÉNAGEMENT FORESTIER DURABLE (UQAT-UQAM)

GESTION DU CARBONE FORESTIER

GÉOCHIMIE ENVIRONNEMENTALE DES RESSOURCES MINÉRALES CRITIQUES ET STRATÉGIQUES

REGENERE - RENATURALISATION DES PARCS À RÉSIDUS MINIERS

UQAT

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

HUMAINE
>>>> CRÉATIVE
AUDACIEUSE

INFORMATIQUE QUANTIQUE

Chauffer la compétition

Michel Pioro-Ladrière et Julien Camiran Lemyre discutant autour du réfrigérateur à dilution. La photo a été prise avant l'imposition des mesures de distanciation.

Une équipe québécoise a osé s'allier à des compétiteurs pour réaliser une prouesse technique. Son processeur quantique ouvre la porte à l'ordinateur du futur.

Par Mélissa Guillemette

Un nouveau record : 1,5 kelvin ! Si froid et si chaud à la fois.

Peu d'endroits sont aussi glacials dans l'Univers ; après tout, 0 kelvin (ou -273,15 degrés Celsius) représente la température à laquelle les particules qui constituent la matière ne bougent plus. Les équipes qui sont engagées dans la course à travers le monde pour concevoir le premier ordinateur quantique ont l'habitude de faire fonctionner leurs prototypes à seulement quelques millièmes de kelvin. Pour elles, 1,5 kelvin, c'est chaud comme jamais !

C'est pourtant à cette température qu'un duo de l'Université de Sherbrooke et des collègues australiens ont réussi à donner vie à un petit processeur quantique. Un exploit quand on sait à quel point les qubits, l'unité de base des ordinateurs quantiques, sont capricieux en matière de température.

Tout commence en 2016 à Baltimore. Le professeur Michel Pioro-Ladrière et son étudiant de doctorat Julien Camirand Lemyre prennent une bière avec des chercheurs australiens à la sortie du congrès annuel de l'American Physical Society. Banal ? Pas dans ce champ d'activité ultracompétitif. « Les gens s'écoutent dans les conférences, mais il n'y a jamais de 5 à 7 », dit celui qui a achevé son doctorat depuis. Québécois et Australiens se rendent compte qu'ils ont des idées complémentaires. « On a décidé de les mettre ensemble pour faire avancer le domaine », raconte Michel Pioro-Ladrière.

L'ordinateur quantique promet de réaliser en quelques secondes des calculs qui prendraient des années aux machines classiques. Plutôt que de reposer sur les bits, les fameux 0 et 1 de l'informatique actuelle, cet appareil exploitera les principes de la mécanique quantique, qui s'intéresse à l'infiniment petit et à ses comportements étranges. Les qubits sont ainsi capables d'avoir deux états à la fois (0 et 1) et de se synchroniser entre eux, ce qui fait exploser les capacités. Le hic : ces propriétés quantiques sont extrêmement difficiles à maîtriser, d'où le recours aux températures de quelques millièmes de kelvin.

Mais cela vient de changer ! Du côté de l'Université de Sherbrooke, Michel Pioro-Ladrière avait déjà inventé la technique des microaimants, qui permet de contrôler les qubits « de spin » (un type de qubits parmi d'autres) et de faire gagner de la vitesse au processeur. Julien Camirand Lemyre est l'expert de l'ingénierie de ces microaimants. Et du côté australien, à l'Université de Nouvelle-Galles du Sud, l'équipe d'Andrew Dzurak avait conçu des qubits de spin en silicium de grande qualité, c'est-à-dire qu'ils commettent peu d'erreurs dans les calculs.

De retour à Sherbrooke, « on s'est mis à faire des simulations, à déterminer de quoi aurait l'air l'agencement de ces deux briques technologiques », mentionne Julien Camirand Lemyre. Il a fallu plusieurs prototypes pour parvenir à un système fonctionnel à deux qubits. Grâce à un réfrigérateur à dilution, ils l'ont refroidi à quelques millikelvins,

• IMAGE : MICHEL CARON / UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

comme toutes les équipes le font : cela permet de réduire les erreurs de calcul. Ne restait plus qu'à augmenter la température pour voir si le système demeurait stable. À 1,5 kelvin, les calculs étaient toujours bons !

La découverte publiée dans *Nature* nous rapproche de l'ordinateur quantique : on peut enfin imaginer réunir l'électronique de contrôle et le processeur dans le cryostat, le réfrigérateur où loge le processeur. « L'électronique de contrôle ne fonctionne pas près du zéro absolu, donc on la laisse en dehors du cryostat et on la relie au processeur avec des câbles, indique le professeur. Cette approche fonctionne pour le moment [avec quelques qubits], mais quand il va y avoir un nombre suffisant de qubits pour effectuer des calculs vraiment utiles, il nous faudra un mètre de diamètre de branchement pour connecter l'électronique de contrôle, qui occupera l'équivalent d'un terrain de football ! » La découverte ouvre la porte à la miniaturisation de ces composants sans repartir à zéro, en bénéficiant des avancées de la microélectronique.

L'alliance avec les Australiens n'en fait pas moins une découverte dont le Québec peut s'enorgueillir, selon le duo sherbrookois. « C'est un message qu'on lance : il est important de briser les barrières en recherche pour aller plus vite. » Et pour réaliser des sauts quantiques ! ●

Ont aussi participé à la découverte : des chercheurs de l'Université Keio (Japon) et de l'Université Aalto (Finlande).

L'avis du jury

Cette prouesse technique époustouflante nous rapproche un peu plus de l'avènement de l'ordinateur quantique, qui promet de révolutionner notre monde.

UdeS

BACCALAURÉAT EN
BIOCHIMIE DE LA SANTÉ

Découvrir les mécanismes moléculaires pour améliorer la santé humaine

- Stages rémunérés équivalant à 12 mois d'expérience sur le marché du travail
- Parcours accéléré pour les personnes détenant un DEC technique en biotechnologies et en analyse biomédicale
- Formation pratique exceptionnelle: travaux en laboratoire dès la 1ère année

USherbrooke.ca/bac-biochimie

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

DONNEZ-VOUS LE POUVOIR DE CHANGER LE MONDE!

PORTES OUVERTES VIRTUELLES DE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

Dimanche 24 janvier 2021
11 h à 16 h Heure de Montréal
Inscription nécessaire

Explorez nos programmes innovants à tous les cycles et découvrez un avant-goût de l'expérience unique qui vous attend à Polytechnique Montréal.

Plus de 200 intervenants en ligne pour répondre à vos questions.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

INSCRIPTION :
polymtl.ca/portes-ouvertes

Elpi, ce « poisson-qui-n'en-est-pas-un »

Richard Cloutier pose à côté des morceaux du fossile *Elpistostege watsoni*.

L'avis du jury

Il s'agit de l'étude québécoise qui a eu le plus de retentissement international au cours de la dernière année. Avec *Elpi*, une sorte de chaînon manquant a été mis au jour. Par ailleurs, ce fossile montre à quel point nos parcs nationaux sont importants : leurs ressources sont d'une richesse incomparable. On ne sait jamais ce qu'on va y trouver…

L'analyse minutieuse des nageoires d'un fossile mis au jour en Gaspésie permet de faire la lumière sur une période critique de l'histoire de l'évolution.

Par Maxime Bilodeau

Certaines découvertes changent le cours d'une vie. Pour Richard Cloutier, professeur à l'Université du Québec à Rimouski, celle d'un « poisson-qui-n'en-est-pas-un », sur la côte sud de la péninsule gaspésienne en août 2010, s'inscrit dans cette catégorie. Ce jour-là, des employés du parc national de Miguasha tombent par hasard sur des restes enfouis dans une strate de roche sédimentaire de la formation d'Escuminac, un important site fossilifère. On établira que le fossile, long de 1,57 m et bien conservé, est celui d'un animal aquatique ayant vécu au Dévonien, il y a environ 375 millions d'années : *Elpistostege watsoni*.

« C'était inespéré : la communauté scientifique espérait depuis des décennies la mise au jour d'un spécimen complet d'*Elpi*, raconte le paléontologue. Depuis, nous allons de surprise en surprise à propos de ce poisson… euh, non, de ce tétrapode. » C'est que les apparences sont trompeuses : avec ses fortes nageoires pectorales et pelviennes, son corps allongé recouvert d'écailles et ses branchies, l'animal ressemble effectivement à un poisson. Pourtant, bien cachés dans ses nageoires se trouvent des osselets dont l'organisation évoque des doigts comparables aux nôtres, une caractéristique phare qui distingue les tétrapodes des autres vertébrés. De quoi commettre bien des lapsus !

• PHOTO : ROBERT BARONET / JDHP INC.

C'est par de minutieux examens de tomodensitométrie à haute énergie, autrement dit des *scans* de grande résolution, que le chercheur a pu repérer la présence de ces phalanges. La publication de ces observations dans la revue savante *Nature*, en mars dernier, a retenu beaucoup l'attention. C'est la première fois qu'on découvre hors de tout doute des doigts enfermés dans une nageoire, ce qui ouvre une fenêtre sur un moment critique de l'évolution : celui de l'apparition de la main et des vertébrés terrestres. « Sans dire qu'il marchait, nous pensons qu'*Elpi* utilisait ses nageoires pour s'appuyer et se traîner sur le rivage. Cela fournit de précieuses indications sur l'apparition subséquente de nombreuses espèces, des dinosaures aux humains », mentionne Richard Cloutier.

En fait, la bête dont l'allure rappelle vaguement l'alligator était probablement un prédateur. Son crâne massif, aplati et triangulaire, est bâti pour saisir et broyer des proies. Et les restes de son dernier repas, eux aussi bien conservés dans le fossile trouvé en 2010, pourraient indiquer qu'il se nourrissait de proies en eau douce, tout près des rives. « Au Dévonien, la nourriture est dans l'eau plutôt que sur la terre, où il n'y avait que quelques invertébrés, comme des araignées et des mille-pattes. Nous menons actuellement des travaux sur le contenu de son estomac afin d'éclaircir cette partie de l'histoire », explique le professeur.

Richard Cloutier compte profiter de l'avancée constante des technologies d'imagerie et d'analyse pour percer les nombreux mystères d'*Elpi* de même que pour statuer une fois pour toutes qu'il s'agit vraiment d'un tétrapode – certains paléontologues ont déploré la définition plutôt « large » du doigt utilisée par le Québécois. À moins qu'un autre fossile apparenté n'émerge, la bestiole continuera de faire la manchette, au plus grand bonheur du scientifique, pour qui la retraite a été *de facto* repoussée aux calendes grecques. « J'attendais sa découverte depuis le début de ma carrière, dans la vingtaine. J'ai aujourd'hui 60 ans. » Mieux vaut tard que jamais.

Ont aussi participé à cette découverte : Roxanne Noël, Isabelle Béchard et Vincent Roy, de l'Université du Québec à Rimouski, ainsi que des chercheurs de l'Université Flinders, en Australie.

Les chercheurs ont percé le secret des nageoires d'*Elpi* grâce à des examens de tomodensitométrie à haute énergie.

• IMAGE : RICHARD CLOUTIER

FÉLICITATIONS

aux chercheurs de l'UQAR qui se sont distingués en 2020!

Richard Cloutier et Guillaume St-Onge

La qualité des travaux du professeur en biologie évolutive Richard Cloutier sur l'évolution des poissons en tétrapodes il y a de cela 375 millions d'années et du titulaire de la Chaire de recherche du Canada en géologie marine Guillaume St-Onge sur la variabilité de la température des eaux de l'Atlantique Nord au cours des trois derniers millénaires témoigne de l'excellence de la recherche à l'Université du Québec à Rimouski.

Université à dimension humaine, l'UQAR est riche de la grande diversité de ses expertises de calibre international et se classe année après année parmi les meilleures universités canadiennes en recherche.

UQAR

LA GRANDE UNIVERSITÉ DE PETITE TAILLE

L'Université de Montréal et de ses remarquables chercheurs

Toutes nos félicitations aux finalistes des 10 découvertes de l'année de *Québec Science*, dont Mickaël Dollé, Jacopo Profili et Dimitrios Koukoulopoulos, qui ont trouvé des solutions ingénieuses à des problèmes d'une grande complexité, en plus de faire briller notre expertise partout sur la planète.

Université de Montréal et du monde.

umontreal.ca/monde

Une conjecture prouvée après 80 ans

Est-il possible d'approximer, à l'aide d'une simple fraction, un nombre comme Pi avec une précision donnée ? Voilà une question qui turlupinait les mathématiciens depuis 1941 et qui est aujourd'hui élucidée.

Par Joël Leblanc

Ce n'est pas tous les jours qu'on prouve une conjecture mathématique, un énoncé qui se vérifie par des exemples, mais qui n'a pas été démontré hors de tout doute. C'est pourtant ce qu'a réussi Dimitris Koukoulopoulos, mathématicien à l'Université de Montréal, en validant la conjecture de Duffin-Schaeffer formulée il y a 80 ans… Une prouesse saluée par des mathématiciens du monde entier !

Cette conjecture tourne autour d'une question : est-il possible d'approximer, à l'aide d'une simple fraction, un nombre comme Pi avec une précision donnée ? Pi fait partie de la famille des nombres irrationnels. On l'obtient en divisant la circonférence d'un cercle par son diamètre. Et il est assez insaisissable, car il possède un nombre infini de décimales : 3,141 592 653 589… « Au quotidien, nous utilisons presque toujours des nombres rationnels, explique Dimitris Koukoulopoulos. Mais la grande majorité des nombres qui existent sont irrationnels. » Le mathématicien a appris à jongler avec ces nombres, qu'on ne peut pas exprimer par une fraction de deux nombres entiers.

« Par contre, on peut les approximer par une fraction », indique-t-il. Par exemple, 22/7 donne **3,14**2 857 14…, ce qui correspond à Pi jusqu'à sa deuxième décimale (d'où les chiffres en gras). En fait, la différence entre cette approximation et la vraie valeur de Pi est de 0,001…, ce qui est plutôt acceptable comme marge d'erreur pour une fraction si simple.

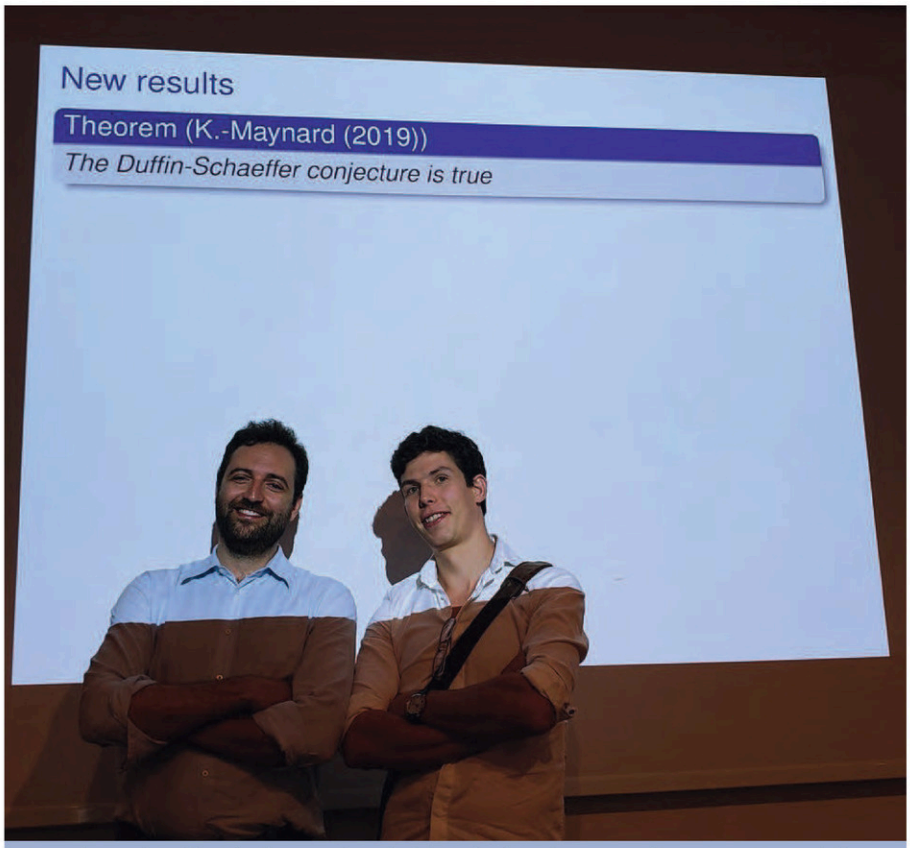
Si l'on essaie avec une fraction dotée d'un dénominateur (le diviseur) plus grand, on peut arriver à une marge d'erreur encore plus faible. Ainsi, 355/113 donne **3,141 592** 92..., ce qui s'approche de Pi jusqu'à sa sixième décimale. La marge d'erreur, ici de 0,000 000 26…, est très respectable ! Les ingénieurs utilisent souvent ce genre de fraction à la place de Pi dans leurs calculs.

Dans une suite de fractions, la précision de l'approximation de Pi augmente à mesure que le dénominateur croît :

19/6 = **3,1**66 666 67...	Marge d'erreur	0,025 074 01…
22/7 = **3,14**2 857 14...	Marge d'erreur	0,001 264 49…
333/106 = **3,141 5**09 43...	Marge d'erreur	0,000 083 21…
355/113 = **3,141 592** 92...	Marge d'erreur	0,000 000 26…
103 993/33 102 = **3,141 592 65...**	Marge d'erreur	0,000 000 000 5…

L'approximation des nombres irrationnels (comme Pi) par des fractions d'entiers turlupine les mathématiciens depuis toujours. En 1941, les mathématiciens américains Richard Duffin et Albert Schaeffer ont postulé, dans la conjecture qui a gardé leurs noms, que, lorsqu'on choisit une série de nombres comme dénominateurs (par exemple les nombres premiers, les nombres pairs ou encore tous les nombres se terminant par 7…) et qu'on choisit une marge d'erreur à ne pas dépasser, deux situations se produisent : il est possible d'approximer à peu près tous les nombres irrationnels ou alors on ne peut en approximer à peu près aucun ! « Il n'y a pas de situation intermédiaire, déclare Dimitris Koukoulopoulos. Il n'y a pas de cas où l'on peut en approximer 30 ou 50 %. C'est tout ou rien. »

Même si une poignée de théoriciens avaient validé de petites parties de la conjecture, elle résistait à toutes les tentatives. Dimitris Koukoulopoulos et son collègue James Maynard, de l'Université d'Oxford en Angleterre, ont utilisé une approche originale



« La conjecture de Duffin-Schaeffer est vraie. » Dimitris Koukoulopoulos et son collègue James Maynard, de l'Université d'Oxford, posent devant la diapositive qui annonçait leur théorème à la communauté des mathématiciens à un colloque en Italie.

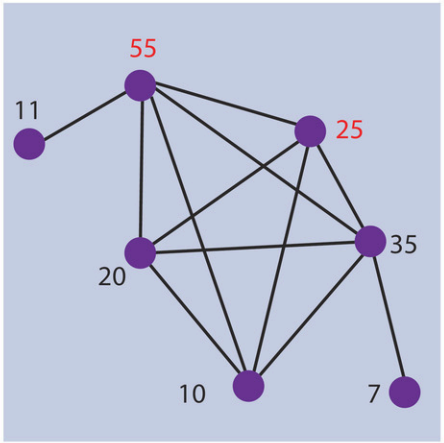
pour parvenir à une démonstration de 55 pages, publiée en juillet 2020 dans les *Annals of Mathematics*.

« Nous avons surpris un peu tout le monde en attaquant le problème par la théorie des graphes. Très sommairement, il s'agit de placer sur un graphique des points représentant les dénominateurs d'une série et de les relier ensemble lorsqu'ils partagent un grand nombre de facteurs communs. Lorsqu'il y a trop de connexions, l'approximation s'avère impossible. Donc, au final, ils ne permettront l'approximation d'à peu près aucun nombre irrationnel. »

Jean-Marie de Koninck, mathématicien bien connu de l'Université Laval qui n'a pas participé à l'étude, exprime avec un sourire dans la voix toute son admiration pour leur intuition : « Ces deux mathématiciens sont géniaux et ont un grand potentiel. Ce n'est pas pour rien que leur démonstration est parue dans les *Annals of Mathematics*. C'est la référence dans notre domaine et chacun aspire à y publier durant sa carrière. Eux ont à peine 35 ans ! De quoi être jaloux ! »

L'avis du jury

Ces mathématiciens ont non seulement réalisé un exploit historique, mais ils l'ont fait en pensant « en dehors du cadre », à l'aide d'une approche originale. Cette démonstration illustre les mathématiques pures. C'est l'expression même de la science fondamentale.



Sur ce graphe apparaissent des dénominateurs. Ils sont reliés lorsqu'ils ont au moins un facteur premier en commun, c'est-à-dire un nombre premier qui peut les diviser en donnant un entier. Par exemple, 25 et 10 peuvent tous deux être divisés par 5. Les dénominateurs non reliés, comme 11 et 20, ne partagent aucun facteur premier. C'est l'analyse du patron d'un tel graphe qui a permis aux mathématiciens de prouver que, même lorsque les dénominateurs choisis ont plusieurs facteurs premiers en commun, la conjecture de Duffin-Schaeffer tient toujours.

• IMAGE : KEVIN FORD • GRAPHIQUE ADAPTÉ DE *QUANTA MAGAZINE*

CONCORDIA

ON PEUT REPENSER LA VIE AUTREMENT!

Grâce à la biologie synthétique, nos scientifiques ont développé une plateforme à base de levure afin d'accroître la production de molécules rares ou jamais vues dans la nature.

Cette avancée pourrait avoir un impact considérable dans le secteur de la santé humaine.

TOUTES NOS FÉLICITATIONS À VINCENT MARTIN ET À SON ÉQUIPE, QUI S'ILLUSTRENT AU PALMARÈS DES 10 DÉCOUVERTES DE L'ANNÉE 2020 DE QUÉBEC SCIENCE.

Une fois de plus, nos chercheurs et chercheuses font rayonner l'Université Concordia.

UNIVERSITÉ Concordia UNIVERSITY

T21-68388

BIOLOGIE SYNTHÉTIQUE

Vers la fin des pénuries de médicaments

L'avis du jury

L'efficacité et l'ingéniosité de la plateforme ont de quoi ébahir. Cette étude ouvre la voie à l'exploration d'un espace chimique auquel la recherche n'avait pas accès jusqu'à présent afin de découvrir de nouveaux composés thérapeutiques.

La pandémie a révélé des faiblesses dans les chaînes d'approvisionnement en médicaments. Une petite levure pourrait corriger cette faille en nous offrant une indépendance pharmaceutique!

Par Renaud Manuguerra-Gagné

Sédatifs, analgésiques, inhalateurs : des pénuries de médicaments essentiels ont frappé plusieurs hôpitaux durant les premiers mois de la pandémie. « Beaucoup de ces médicaments sont fabriqués à partir de molécules de base qui ne sont pas produites au Canada, explique Vincent Martin, titulaire de la Chaire de recherche de l'Université Concordia en génie microbien et en biologie synthétique. Par exemple, plusieurs antidouleurs nécessitent des molécules provenant de plantes qui ne peuvent être cultivées légalement ici. On est totalement dépendant des importations. »

Faciliter la production de ces molécules en sol canadien pourrait régler le problème. Or, recréer ces procédés naturels en laboratoire est souvent si complexe, et les rendements si faibles, que le processus n'a jamais permis d'atteindre l'échelle commerciale.

Cela pourrait changer grâce à l'équipe de Vincent Martin, qui a conçu une plateforme permettant la synthèse d'une molécule de base fondamentale pour l'industrie du médicament : la tétrahydro-isoquinoline (THIQ). Celle-ci est le point de départ d'une hiérarchie de composés, des métabolites, à partir desquels plus de 3 000 molécules bioactives sont formées.

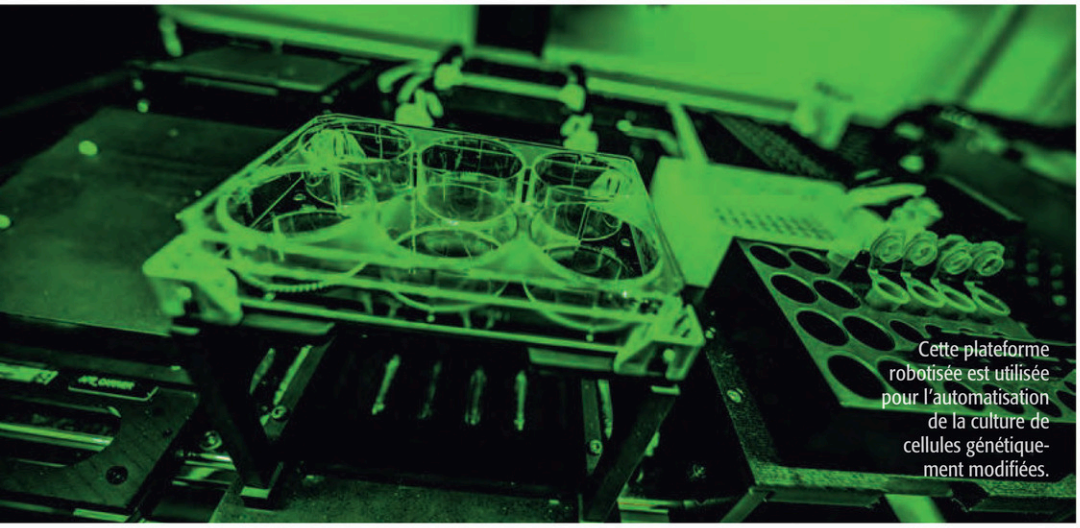
« On voulait une molécule qui pourrait jouer un rôle dans toute l'industrie pharmaceutique, confie Vincent Martin. Des métabolites de la THIQ entrent dans la composition d'une multitude de médicaments indispensables, de la morphine jusqu'au traitement de la maladie de Parkinson. »

Le secret de l'équipe? Une simple levure, la même qu'on emploie pour fabriquer le pain et la bière. Et évidemment de solides connaissances en génie génétique.

« Nous ne sommes pas les premiers à répliquer chez la levure la voie métabolique qui mène à la THIQ ainsi qu'aux métabolites qui en découlent, indique Michael Pyne, chercheur postdoctoral et premier auteur de l'étude parue en juillet dans la revue *Nature Communications*. Ceux qui y sont parvenus n'obtenaient toutefois que des quantités infimes. »

Ces mauvais rendements sont attribuables à la levure, qui utilise pour elle-même les molécules qu'elle produit plutôt que de les laisser filer pour la fabrication de médicaments. Après plusieurs années de recherche, l'équipe du professeur Martin a réussi son défi : une culture de levure qui donne en quelques jours jusqu'à cinq grammes de réticuline par litre de solution. Ce métabolite de la THIQ est nécessaire entre autres pour la synthèse de la morphine. Un rendement 57 000 fois supérieur aux précédents essais!

Le procédé pourrait même dépasser le rendement obtenu par la culture de plantes. Par exemple, l'une des plus importantes molécules libérées par un plan de cannabis est le tétrahydrocannabinol, mais cette plante complexe fabrique des centaines



Cette plateforme robotisée est utilisée pour l'automatisation de la culture de cellules génétiquement modifiées.

Vincent Martin, titulaire de la Chaire de recherche de l'Université Concordia en génie microbien et en biologie synthétique.

d'autres composés, dont le cannabidiol et le cannabigérol, et plusieurs autres qui intéressent la communauté médicale. « Une plante forme des milliers de molécules, certaines en grandes quantités et d'autres en quantités minimes. Avec notre plateforme, on peut cibler n'importe laquelle de ces molécules rares et les produire à des niveaux jamais égalés », ajoute Vincent Martin.

Ce n'est pas le seul avantage de cette plateforme. « Notre levure peut aussi fabriquer des molécules jusqu'ici inconnues, dit Michael Pyne. En modifiant certains de ses gènes ou certaines de ses enzymes, ou même en altérant le milieu de culture qui la nourrit, on pourrait créer des molécules aux propriétés médicinales inédites. »

L'équipe du professeur Martin travaille avec des partenaires industriels pour amener cette technologie vers la production à grande échelle. Une transition qui pourrait accélérer la découverte de nouveaux médicaments, mais aussi assurer l'accès à des ressources médicales de première nécessité en temps de crise. ●

Ont aussi participé à cette découverte : Kaspar Kevvai, Lauren Narcross et Leanne Bourgeois, de l'Université Concordia, ainsi que des chercheurs de l'Université de Californie à Berkeley.

Cette plateforme robotisée intégrée est destinée à l'assemblage d'ADN synthétique.

• IMAGES : UNIVERSITÉ CONCORDIA

Une batterie faite d'eau et de bois

Des chimistes et des physiciens ont trouvé la recette pour fabriquer à moindre coût une batterie aux ions de lithium plus sécuritaire et plus verte.

Par Etienne Plamondon Emond

Les espoirs de la transition énergétique reposent en grande partie sur les batteries aux ions de lithium. Leur capacité à stocker l'énergie pourrait propulser la production d'électricité par des sources renouvelables irrégulières comme le vent et le soleil. Mais il y a une ombre au tableau : leur conception nécessite des produits néfastes pour la santé, la sécurité et l'environnement.

Pour comprendre la source du problème, revenons à leur fonctionnement. « Le but des batteries, c'est de faire des cycles de charge-décharge le plus grand nombre de fois possible », résume Steeve Rousselot, chercheur au Département de chimie de l'Université de Montréal. Une batterie possède deux électrodes. L'une d'elles est bourrée d'ions de lithium. Au moment de fournir de l'énergie, ces ions rejoignent l'autre électrode en passant par un liquide appelé électrolyte. Quand la batterie est rechargée, ces ions parcourent le chemin inverse, toujours à travers l'électrolyte.

Dans chaque électrode, un produit maintient ensemble les divers composants, un peu comme l'œuf qui lie les ingrédients d'une pâtisserie. Or, règle générale, ce liant est un polymère à base de pétrole dissous dans un solvant organique nocif pour la santé. Quant à l'électrolyte de la batterie, il est généralement constitué d'un solvant organique inflammable et difficile à recycler.

D'autres solutions moins coûteuses, plus sécuritaires et plus vertes existent déjà. Les batteries aux ions de lithium dites aqueuses, par exemple, fonctionnent avec un électrolyte à base d'eau. Pour ce qui est des électrodes, leur liant peut être un produit beaucoup moins polluant issu des résidus forestiers : la carboxyméthylcellulose (CMC).

Le hic ? Ces deux options ne sont pas compatibles, car la CMC est soluble dans l'eau. Si une électrode formée grâce à ce liant fonctionne bien avec un électrolyte à base d'un solvant organique, elle se décompose au contact d'un électrolyte à base d'eau. Du moins, elle se décomposait jusqu'à ce que des chercheurs de l'Université de Montréal trouvent la recette pour l'intégrer dans une batterie aqueuse. Tant leur procédé que leur produit ont fait l'objet d'une demande de brevet en juin 2019, puis d'une publication dans *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* en février 2020.

Steeve Rousselot et ses collègues du Laboratoire de chimie et électrochimie des solides s'échinaient à réduire l'impact environnemental des batteries quand ils ont eu vent de travaux qui avaient le potentiel de les aider. Ils n'ont pas eu besoin d'envoyer un courriel ou de passer un appel. Ils n'ont eu qu'à marcher jusque chez leur voisin, le Département de physique : on y expérimentait l'effet du plasma sur du bois et de la cellulose.

Un gaz se transforme en un plasma lorsqu'on le soumet à une tension électrique. La matière devient instable et change d'état, comme c'est le cas dans une aurore boréale ou un éclair. « Avec cette énergie importante, on peut former des liaisons entre atomes et molécules, ce qui est très difficile à faire en chimie classique, et ainsi créer de nouveaux matériaux », souligne Jacopo Profili, physicien et auteur principal de l'article.

Une électrode conçue à l'aide de la CMC est donc placée dans un appareil à l'intérieur duquel un gaz, l'hélium ou l'azote, est transformé en un plasma. Un liquide, l'hexaméthyldisiloxane, est diffusé à l'intérieur. Les fragments de molécules instables alors créés interagissent avec la surface de l'électrode pendant quelques dizaines de minutes pour y former une mince couche protectrice, de l'ordre du nanomètre, aux propriétés hydrophobes. « Elle empêche la dissolution de l'électrode dans une batterie aqueuse », mentionne Steeve Rousselot, coauteur de l'article. Et même si ce revêtement repousse l'eau, « il permet quand même le passage des ions de lithium pour charger et décharger la batterie », ajoute-t-il.

Bonne nouvelle : l'équipement pour obtenir le plasma s'intègre facilement à une chaîne de production industrielle. Quant

De gauche à droite : Jacopo Profili, Steeve Rousselot, Erica Tomassi, Elsa Briqueleur, Luc Stafford, Mickaël Dollé et David Aymé-Perrot.

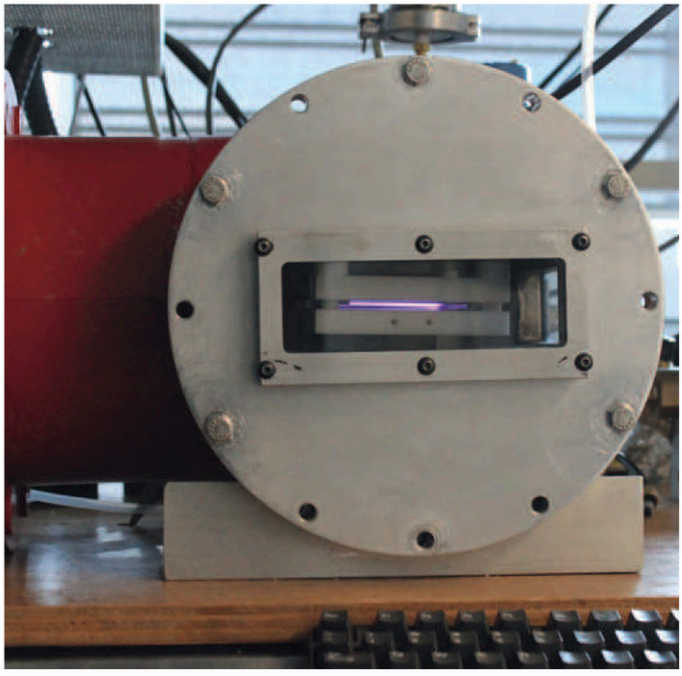
• IMAGES : LUDOVIC GAUTHIER ; GUITRON ALEJANDRA

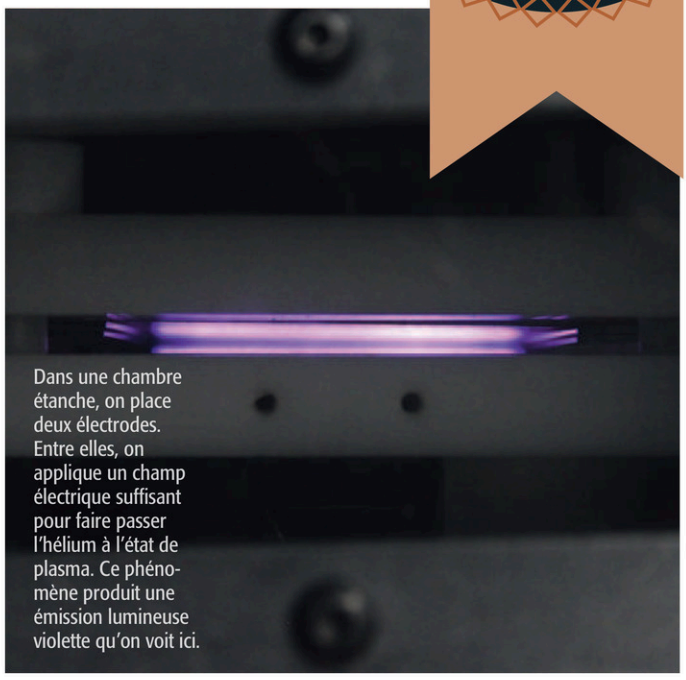
à la batterie, sa densité d'énergie n'est pas suffisante pour des appareils mobiles ou des véhicules, mais elle se révèle tout indiquée pour stocker l'énergie d'éoliennes ou de panneaux solaires. Son avantage est de taille : elle ne risque pas de prendre feu ou d'exploser ni d'entraîner le déversement de produits chimiques dans la nature, en plus de promettre un recyclage plus simple en fin de vie. ●

Ont aussi participé à la découverte : Erica Tomassi, Elsa Briqueleur, Mickaël Dollé et Luc Stafford, de l'Université de Montréal, ainsi que David Aymé-Perrot, de l'entreprise Total.

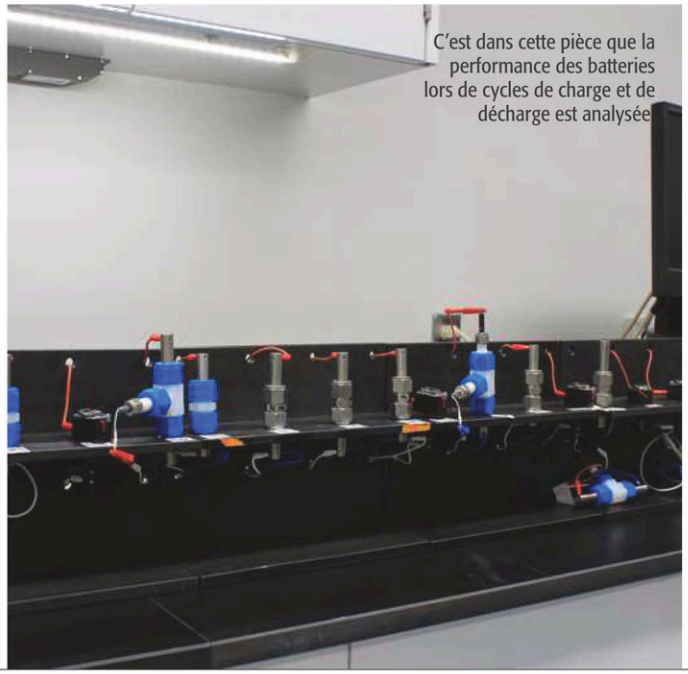
L'avis du jury

Le recyclage est le problème du futur des batteries. Certes, ces chercheurs ne sont pas les premiers à réfléchir sur une batterie verte. Mais ils ont le mérite d'avoir conçu une batterie en considérant l'ensemble de son cycle de vie. Leur procédé est à la fois astucieux et prometteur.

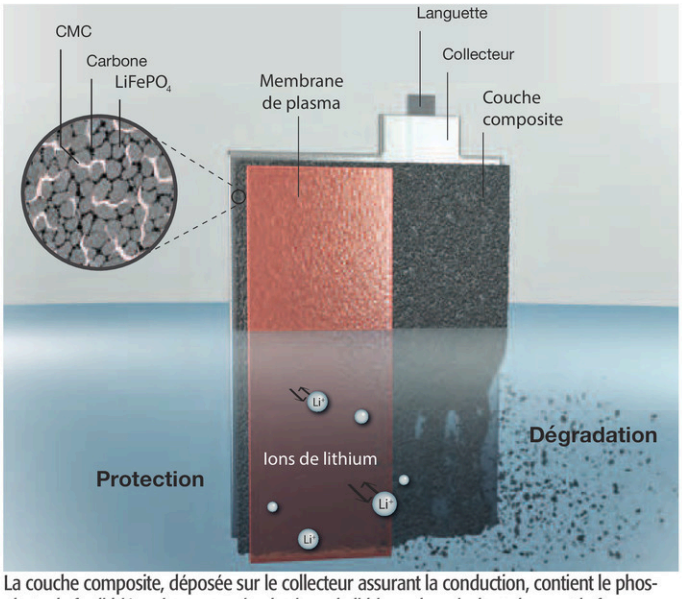




Dans une chambre étanche, on place deux électrodes. Entre elles, on applique un champ électrique suffisant pour faire passer l'hélium à l'état de plasma. Ce phénomène produit une émission lumineuse violette qu'on voit ici.



C'est dans cette pièce que la performance des batteries lors de cycles de charge et de décharge est analysée.



La couche composite, déposée sur le collecteur assurant la conduction, contient le phosphate de fer lithié, qui emmagasine les ions de lithium, du noir de carbone et la fameuse CMC. La membrane de plasma protège la couche composite de la dissolution au contact de l'eau tout en laissant passer les ions de lithium.

• IMAGES : GUITRON ALEJANDRA • GRAPHIQUE : AGENCE IMPAKT SCIENTIFIK

OCÉANOGRAPHIE

Pousser à l'ombre des glaces

Prisonnier sous la glace, le phytoplancton de l'Arctique réussit à survivre à la quasi-obscurité de l'hiver polaire et même à croître faiblement dans ces conditions hostiles.

Par Annie Labrecque

Le jeune chercheur Achim Randelhoff au cours d'un périple de recherche en 2014 dans le Svalbard, en Norvège.

Les conditions hivernales sont rudes dans l'océan Arctique : le froid, la chape de glace de quelques mètres, les longues périodes d'obscurité… Les scientifiques croyaient que le phytoplancton, qui a besoin de lumière et qui est à la base de la chaîne alimentaire, s'activait seulement lorsqu'il était libéré de l'épais couvert de glace tard au printemps. Cependant, une équipe internationale de chercheurs a récemment mis en évidence que le plancton végétal peut pousser malgré une très faible luminosité.

« En Arctique, l'hiver est une période de l'année très peu étudiée », souligne Achim Randelhoff, chercheur postdoctoral au laboratoire Takuvik de l'Université Laval et au Centre national de la recherche scientifique (CNRS) en France et premier auteur de l'étude publiée dans *Science Advances* en septembre dernier.

Au cours d'une expédition durant l'été 2017, pour découvrir ce qui se passe sous la glace, les océanographes ont mis à l'eau des flotteurs Argo autonomes dans la baie de Baffin, entre le Nunavut et le Groenland. Ressemblant à de longs tubes sophistiqués en position verticale, ces robots sous-marins sont programmés pour éviter les collisions avec la glace et dérivent au gré des courants marins à différentes profondeurs. L'été venu, lorsque la glace fond, ils refont surface et transmettent aux satellites des données fort précieuses pour les chercheurs.

Pendant trois hivers, de 2017 à 2019, quatre Argo munis de plusieurs capteurs

• IMAGE : ARILD SUNDFJORD

ont enregistré la température et la salinité de l'eau, mais aussi la masse du phytoplancton ainsi que son activité photosynthétique (niveau de luminosité, fluorescence, rétrodiffusion de l'eau…). Avec ces données, les chercheurs ont découvert que dès février, malgré la quasi-obscurité sous la glace, il y a augmentation nette de la masse du phytoplancton. Un phénomène rendu possible seulement s'il y a photosynthèse.

Cette faible croissance en hiver aiderait ensuite à l'éclosion du phytoplancton au printemps. « Le phytoplancton possède différentes stratégies pour survivre au long hiver arctique. Il peut produire des spores qui germent au printemps ou il peut croître pendant cette période, même si c'est très faiblement », remarque Achim Randelhoff.

Comment le phytoplancton parvient-il à utiliser si peu de lumière pour sa croissance ? C'est un élément inconnu que le chercheur aimerait explorer pour comprendre ce qui se passe sur le plan physiologique chez cet organisme. Déjà, il s'affaire avec son équipe à concevoir des flotteurs équipés d'instruments dont la sensibilité à la lumière hivernale plutôt faible sera accrue.

Dans les prochaines années, on appréhende les effets du réchauffement climatique. « Si la glace disparaît, il y aura plus de lumière et probablement plus de phytoplancton. Cela risque de perturber profondément toutes les chaînes alimentaires de l'Arctique », redoute l'océanologue.

Contrairement à la fonte de la glace, les cycles solaires sont immuables. « Il y aura toujours une nuit polaire. Ce sera intéressant de voir comment la combinaison de ces contraintes – la disparition de la glace et la nuit polaire – influera sur la croissance du phytoplancton », conclut-il. Sous la loupe des chercheurs, l'hiver arctique promet d'être riche en découvertes. ●

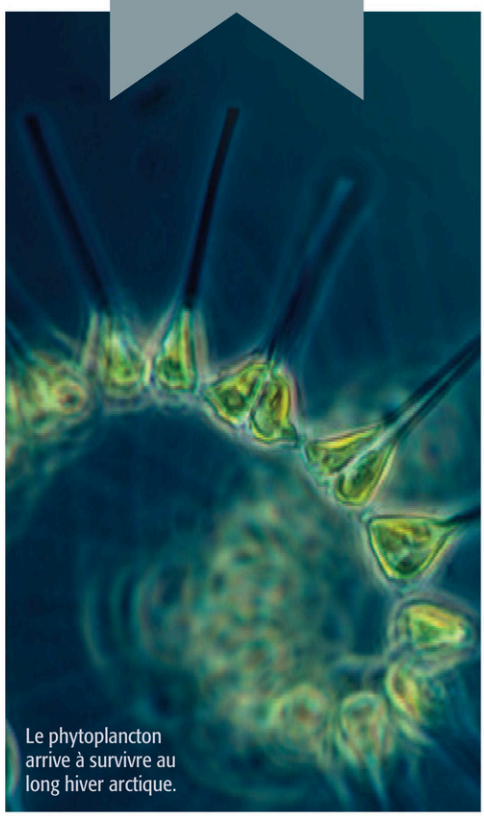
Ont aussi participé à cette découverte : Léo Lacour, José Lagunas, Gérald Darnis, Louis Fortier et Marcel Babin, de l'Université Laval, ainsi que des chercheurs de l'Institut universitaire européen de la mer et du CNRS en France, du ministère des Ressources naturelles de la Chine et de l'Université de Hokkaido au Japon.*

** Pour Louis Fortier, figure de proue de la recherche océanographique québécoise en Arctique, il s'agit d'une publication posthume, au terme de plus de 30 années d'une carrière des plus prolifiques.*

L'avis du jury

Les méthodes utilisées pour récolter les données sont impressionnantes, tout comme la patience et la détermination des chercheurs. Leurs travaux contribuent à faire avancer les connaissances sur l'écosystème de l'Arctique, encore trop peu connu.

Deux ingénieurs du laboratoire Takuvik et du Laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer préparent un flotteur Argo pour sa mise à l'eau dans la mer de Baffin.


Le phytoplancton arrive à survivre au long hiver arctique.

• IMAGES : LABORATOIRE TAKUVIK ; SHUTTERSTOCK.COM

Prochaine sortie : l'espace

NOUVEAUTÉS

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

NOUVEAU FILM ET APPLICATION MOBILE « ÉMERGENCE »
SALLE MULTIMÉDIA 4K | RÉALITÉ VIRTUELLE

Sépaq

ASTROLab du parc national du Mont-Mégantic

astrolab.qc.ca

Photo : Rémi Boucher

ONCOGÉNÉTIQUE

Incursion inédite dans les tumeurs du cerveau

Charles P. Couturier, doctorant et médecin résident, et Kevin Petrecca, chef du service de neurochirurgie du Centre universitaire de santé McGill.

Deux équipes ont déchiffré la signature génétique individuelle de milliers de cellules cérébrales pour comprendre l'origine et l'organisation des tumeurs du cerveau.

Par Marine Corniou

On dit que, pour vaincre un ennemi, il faut apprendre à le connaître. Alors, pour affronter les cancers du cerveau les plus agressifs, deux équipes montréalaises ont choisi de dresser patiemment, cellule par cellule, le portrait de leur adversaire. « Plutôt que de continuer à mener chaque année une poignée d'essais cliniques qui échouent, on a voulu savoir à quoi l'on faisait face pour mieux cibler les traitements », dit Kevin Petrecca, chef du service de neurochirurgie du Centre universitaire de santé McGill. Avec ses collègues du Neuro (Institut-hôpital neurologique de Montréal), il a décortiqué avec une précision inédite le glioblastome, le cancer cérébral le plus courant et le plus agressif chez l'adulte.

En parallèle, l'équipe de Claudia Kleinman, de l'Institut Lady Davis de l'Hôpital général juif, et Nada Jabado, de l'Institut de recherche du Centre universitaire de santé McGill, a utilisé une approche similaire pour mieux cerner certains cancers du cerveau chez l'enfant. Les tumeurs visées par ces travaux résistent à la chimiothérapie, et la survie des malades, petits ou grands, ne dépasse généralement pas deux ans.

D'où viennent ces cancers ? À partir de quelle cellule détraquée se développent-ils ? Comment s'organisent les cellules au sein de la tumeur ? Et surtout, lesquelles doit-on viser pour frapper efficacement ? Pour répondre à ces questions, les deux équipes ont abattu un travail colossal : des dizaines de milliers de cellules, tumorales ou non (il faut bien savoir à quoi ressemble la « normalité » !),

• IMAGE : CENTRE UNIVERSITAIRE DE SANTÉ MCGILL

De gauche à droite : la Dre Nada Jabado, professeure de pédiatrie et de génétique humaine, Selin Jessa, étudiante de doctorat en sciences quantitatives du vivant, et Claudia Kleinman, professeure adjointe de génétique humaine.

L'avis du jury

Exceptionnellement, en raison de points communs dans leurs sujets d'étude et leurs approches, les jurés ont décidé de regrouper ces découvertes et de leur réserver une place commune dans notre palmarès. Toutes deux sont d'une qualité remarquable et raffinent notre compréhension des cancers du cerveau, des maladies dévastatrices.

ont été analysées une à une pour voir quels gènes s'y exprimaient.

Lorsqu'un gène est actif dans une cellule, une copie de ce gène est produite sous forme d'ARN (une molécule proche de l'ADN). Les chercheurs se sont donc penchés sur ces ARN pour obtenir la signature génétique des cellules. « Avec un système microfluidique, on isole chaque cellule dans une gouttelette et l'on y ajoute une séquence génétique unique qui sert de code-barres. On séquence ensuite l'ensemble des morceaux d'ARN de toutes les cellules, mais on peut reconstituer le profil de chaque cellule grâce à ce code-barres », explique Guillaume Bourque, directeur bio-informatique au Centre d'innovation Génome Québec et Université McGill.

M. Bourque a participé aux analyses des deux équipes : au total, ce sont plus de 76 000 cellules cérébrales (soit 53 000 issues des glioblastomes de 16 patients opérés et 23 000 cellules normales) qui ont été scrutées individuellement par l'équipe du Neuro. Un record dans le domaine ! « Cette technique est très puissante. Il a fallu 15 ans pour décrypter le premier génome humain ; ici, c'est comme si l'on avait séquencé 76 000 génomes ! » indique Kevin Petrecca.

Claudia Kleinman et Nada Jabado ont quant à elles examiné 65 000 cellules provenant de cerveaux d'humains et de souris en plein développement dans le but de tester une hypothèse : ce sont des anomalies survenant au stade prénatal qui entraîneraient, quelques années plus tard, la survenue d'un cancer cérébral. Un sacré défi, car le cerveau est une boîte noire : aux stades embryonnaires, les cellules acquièrent peu à peu leur identité définitive (l'équipe a dénombré 191 populations cellulaires distinctes), mais elles le

• PHOTO : DONALD ROBITAILLE

font en migrant d'une région à l'autre et en passant par une multitude d'étapes. Retracer leur parcours n'est pas une mince affaire.

« Dans les deux cas, les équipes ont fait le parallèle entre les cancers et les tissus normaux ou en développement. C'est un tour de force d'avoir réussi ces comparaisons ! » affirme Guillaume Bourque.

COMPOSER AVEC L'HÉTÉROGÉNÉITÉ

Si l'on a besoin de cette finesse d'analyse, c'est que les tumeurs sont hautement hétérogènes. D'une part, « chaque tumeur a son histoire, indique Nada Jabado, professeure de pédiatrie et de génétique humaine à l'Université McGill. On doit donc comprendre toutes les étapes clés du développement du cerveau pour pouvoir trouver une correspondance avec la signature génétique d'une tumeur donnée. » D'autre part, dans une même tumeur, deux cellules voisines peuvent présenter des protéines de surface ou des mutations génétiques radicalement différentes. Conséquence ? Lorsqu'un médicament vise une mutation en particulier, les cellules qui n'ont pas cette anomalie s'en sortent indemnes. D'où les récidives.

« Avec les techniques habituelles, on séquence la tumeur en entier en la passant dans le broyeur. Les spécificités sont gommées ; on obtient des données moyennes difficiles à interpréter », souligne Kevin Petrecca. Imaginez avoir à deviner la forme et le goût d'une framboise – sans en avoir jamais mangé – en goûtant un smoothie ! Ici, c'est comme si les chercheurs avaient préservé l'intégrité – et l'identité – de chacun des fruits. Ils ont ainsi pu dresser une sorte d'arbre généalogique des cellules malignes pour remonter le fil des évènements… jusqu'aux racines du mal.

Et qu'ont-ils tiré de ce travail de moine ? Du côté du glioblastome, les choses sont moins chaotiques que ce qu'on pensait, selon les résultats publiés dans *Nature Communications*. « Nous avons identifié quatre types de cellules. Certaines ont un profil proche de celui des neurones, d'autres ressemblent aux astrocytes et d'autres encore aux oligodendrocytes [deux types de cellules normales qui peuplent le cerveau], à ceci près qu'elles sont cancéreuses. C'est comme si la tumeur était un cerveau miniature », mentionne Kevin Petrecca.

D'où vient ce minicerveau parasite ? Il dérive de cellules souches cancéreuses, des « progénitrices » qui constituent le quatrième type et qui donnent naissance aux trois autres types. « Personne n'avait jamais trouvé de cellules souches dans les cancers du cerveau, même si l'on soupçonnait leur présence. Ce qui nous a surpris, c'est qu'elles se divisent très vite. On pensait l'inverse. » Alors que les traitements anticancéreux ciblent plutôt les cellules « matures », différenciées, l'équipe veut s'attaquer à ces hydres immortelles qui alimentent toute la tumeur. Déterminée à ne pas perdre de temps, elle a déjà testé un médicament potentiel sur des souris et les résultats sont encourageants. « Nous souhaitons sélectionner deux ou trois molécules prometteuses avant de lancer des essais cliniques », précise le Dr Petrecca, plein d'espoir.

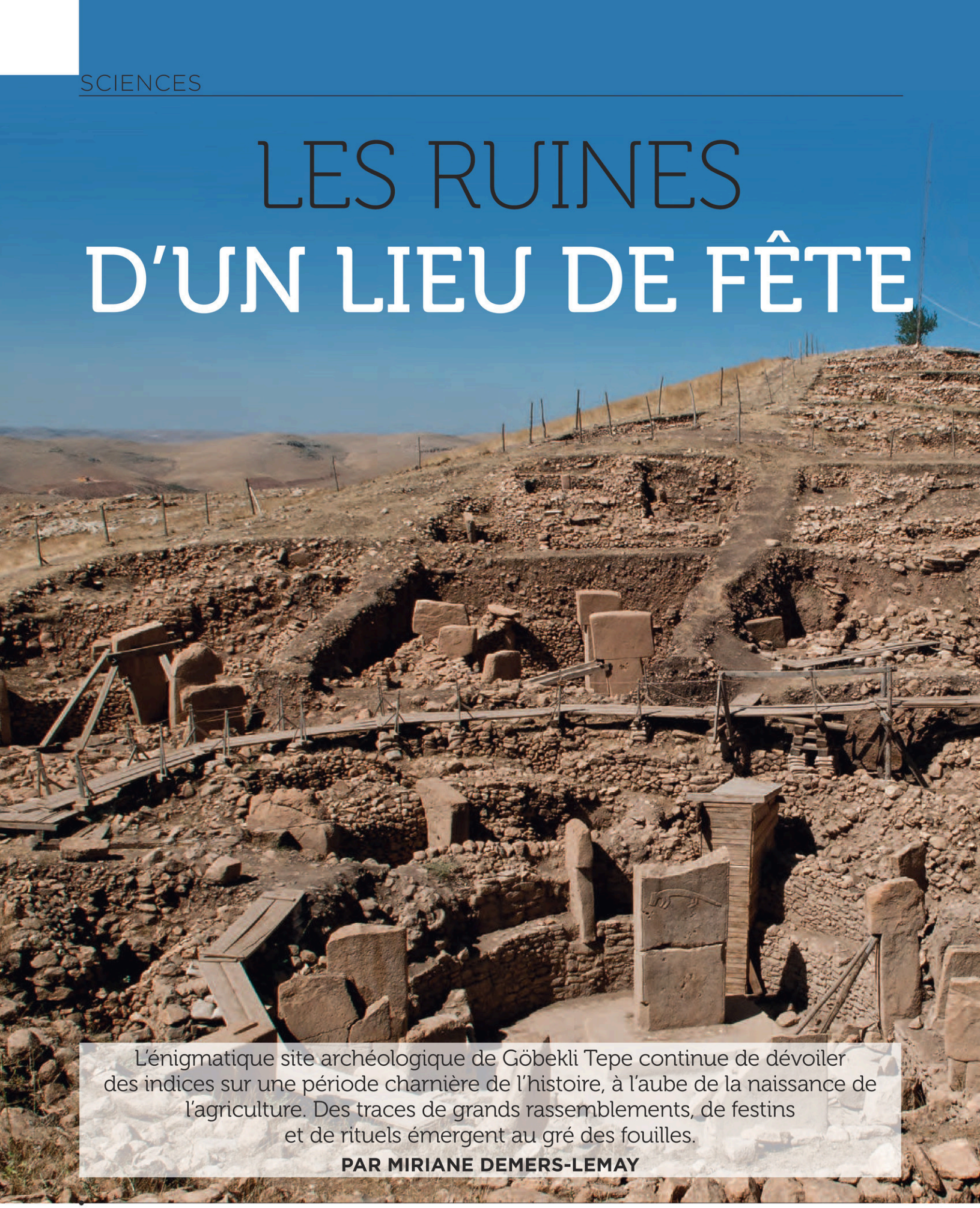
Du côté des tumeurs chez les enfants, on a reculé encore plus loin dans le temps, au tout début du développement embryonnaire. « C'est un travail d'archéologue : on a voulu trouver la cellule d'origine parmi tous les types cellulaires du cerveau », illustre la généticienne Claudia Kleinman, qui a conduit les analyses bio-informatiques avec l'étudiante de doctorat Selin Jessa. L'équipe a établi l'atlas complet du tronc cérébral en développement : quelle cellule exprime quels gènes, à quel moment et pour donner naissance à quel type de cellule au final, sachant que les cellules tumorales conservent plusieurs caractéristiques de leur « ancêtre ». Cette cartographie à très haute résolution a été publiée dans la revue *Nature Genetics*.

« Les tumeurs chez l'enfant sont des erreurs de la nature. Au lieu de devenir matures, certaines cellules du cerveau restent au stade développemental. Comme des Peter Pan qui refusent de grandir. À cause de cela, au fil des divisions, elles peuvent devenir tumorales, fait observer Nada Jabado. Le défi consiste maintenant à déterminer la meilleure façon de les tuer ou de les débloquer pour favoriser leur maturation. »

Le jeu est fastidieux, mais il en vaut la chandelle : dans la course effrénée contre le cancer du cerveau, prendre du recul pour comprendre la genèse de la maladie permet de mieux sauter. Pour enfin frapper au bon endroit. ●

Ont aussi participé à ces découvertes :
Pour les tumeurs pédiatriques : Alexis Blanchet-Cohen, Brian Krug, Marie Coutelier, Damien Faury, Nicolas De Jay, Steven Hébert, Jean Monlong, W. Todd Farmer, Yixing Hu, Melissa McConechy, Leonie Mikael, Benjamin Ellezam, Maxime Richer, Andréa Allaire, Alexander Weil, Jeffrey Atkinson, Jean-Pierre Farmer, Roy Dudley, Valerie Larouche, Louis Crevier, Steffen Albrecht, Pierre-Eric Lutz, Corina Nagy, Gustavo Turecki, Santiago Costantino, Keith K. Murai, Jiannis Ragoussis et Livia Garzia ainsi que des chercheurs de l'Hôpital pour enfants malades de Toronto et du Centre hospitalier universitaire de Grenoble.
Pour le glioblastome : Charles P. Couturier, Shamini Ayyadhury, Phuong Le, Javad Nadaf, Jean Monlong, Gabriele Riva, Redouane Allache, Salma Baig, Xiaohua Yan, Mathieu Bourgey, Changseok Lee, Yu Chang David Wang, V. Wee Yong, Marie-Christine Guiot, Hamed Najafabadi, Bratislav Misic, Jack Antel et Jiannis Ragoussis.

LES RUINES D'UN LIEU DE FÊTE



L'énigmatique site archéologique de Göbekli Tepe continue de dévoiler des indices sur une période charnière de l'histoire, à l'aube de la naissance de l'agriculture. Des traces de grands rassemblements, de festins et de rituels émergent au gré des fouilles.

PAR MIRIANE DEMERS-LEMAY

• IMAGE : WIKIMEDIA COMMONS

Le minibus roule vers une colline qui surplombe les plaines environnantes, au sommet de laquelle sont enfouies d'étranges structures. Un voile d'humidité brouille l'horizon; par temps clair, on peut apercevoir les monts Taurus, où les fleuves du Tigre et de l'Euphrate prennent leur source. Aux alentours, les vallons couverts de pistachiers, d'oliviers et d'herbe jaunie par le soleil ont vu pousser les premières céréales cultivées de l'histoire de l'humanité.

Nous sommes dans le sud de la Turquie, au cœur du Croissant fertile, une région où les chasseurs-cueilleurs du néolithique ont commencé à produire leur nourriture grâce à l'agriculture et à l'élevage. Si les questions restent nombreuses sur ce mystérieux chapitre de l'histoire, des éléments de réponse émergent lentement du site archéologique de Göbekli Tepe, qui trône au sommet d'un monticule de 15 m de haut. Construit artificiellement il y a 12 000 ans, soit plus de 6 000 ans avant Stonehenge et 7 500 ans avant la pyramide de Khéops, il dissimulerait une vingtaine d'enceintes circulaires hérissées d'immenses piliers. Quatre d'entre elles, de 10 à 30 m de diamètre, ont été mises au jour.

« Ils ont transporté des pierres de 15 tonnes et ils ont taillé un pilier de 40 tonnes [demeuré dans la carrière de pierre] », s'étonne Hasan Yıldız, un ouvrier qui assiste les archéologues depuis le début des fouilles sur le site il y a 25 ans. À l'intérieur des enceintes enfouies dans le sol, il pointe des piliers en forme de T pouvant atteindre plus de 5 m de haut. Les outils de métal n'existant pas encore à cette époque, les piliers ont été découpés avec de simples lames de silex avant d'être transportés sur plus de 500 m et érigés en cercle.

« Qui étaient ces gens ? Pourquoi ont-ils fait cela ? » se demande Hasan Yıldız. Selon les experts du site, Göbekli Tepe était un lieu où des groupes nomades de la région se rassemblaient pendant quelques mois; des activités domestiques et des rituels avaient vraisemblablement lieu dans ces enceintes. Puis, ces structures ont été volontairement ensevelies après plus de 1 500 ans d'occupation. D'autres sites du genre, possédant de grands piliers en T, ont été trouvés dans la région.

Alors que les groupes de chasseurs-cueilleurs comptaient probablement de 20 à 50 membres, la main-d'œuvre nécessaire à la construction de Göbekli Tepe devait reposer sur plusieurs centaines de personnes. Il fallait bien nourrir toutes ces bouches. Ici, selon des études récentes, de grands festins ont probablement été organisés et l'on a peut-être expérimenté la culture de céréales, qui a ouvert la voie à une transition du mode de vie menant à la naissance des civilisations.

DU PAIN ET DE LA BIÈRE

Des pierres taillées grossièrement sont empilées dans un secteur du site. En les regardant de plus près, on remarque qu'il s'agit de mortiers et de pilons. Au total, on en a excavé 7 000, une quantité estimée trop élevée pour un usage quotidien. On a aussi trouvé une grande abondance d'os de gazelles et d'aurochs chassés, mais aucune aire de stockage de nourriture. Autant d'éléments qui indiquent la préparation de festins, d'après une étude publiée récemment dans la revue *PLOS ONE* par des experts de l'Institut archéologique allemand et d'autres groupes de recherche berlinois.

De toute évidence, cette préparation demandait un minimum d'organisation. « Plusieurs de ces personnes n'avaient pas le temps d'aller chasser, suppose Jens Notroff, archéologue à l'Institut archéologique allemand, à Berlin, et responsable des fouilles. Alors, pour réaliser ces grands rassemblements, peut-être avait-on besoin d'explorer de nouvelles façons de s'alimenter. On ignore le déroulement exact des évènements, mais on peut présumer qu'il y a une relation entre le début de la production de nourriture et les activités rituelles se tenant sur des sites comme Göbekli Tepe », acquiesce son collègue Lee Clare, coordonnateur de la recherche sur le site. Selon lui, même si ces personnes pratiquaient encore la chasse, elles récoltaient aussi des semences sauvages. Elles commençaient probablement à expérimenter la culture des céréales par essai-erreur.

En analysant des échantillons de phytolithes, des concrétions de silice trouvées dans des restes de plantes, les chercheurs ont déterminé que des épis de céréales ont été cueillis. Du petit épeautre et de l'orge sauvage ont été retrouvés dans les mortiers et pilons, qui servaient à moudre les céréales pour en accélérer le temps de cuisson. À l'aide d'une modélisation 3D de la structure des mortiers, les chercheurs ont établi que ces céréales étaient moulues en farine grossière et que le pain de l'époque avait une texture de porridge. Il est aussi possible que ces céréales aient été fermentées pour fabriquer des boissons alcoolisées, mentionnent les chercheurs. Cependant, aucune céréale possédant des mutations génétiques associées à la culture n'a été trouvée sur le site jusqu'à présent. Il faut dire que les traces génétiques de culture ne sont probablement apparues qu'après plusieurs générations de céréales cultivées. Les chercheurs savent toutefois que le site a été abandonné environ 8 000 ans avant notre ère, ce qui correspond à la fondation des premiers villages comme Çatal Höyük et aux premières traces de céréales cultivées découvertes sur les flancs de la montagne Karacadağ, à quelques dizaines de kilomètres de Göbekli Tepe.

UN MONDE EN TRANSFORMATION

Avec un sourire, Hasan Yıldız désigne le sommet de l'un des piliers, qui a été abîmé par son grand-père qui labourait son champ. Il n'y a pas si longtemps, la population locale se rendait sur cette colline pour faire des sacrifices d'animaux et guérir les malades, se souvient l'ouvrier qui a grandi ici. À quelques mètres des ruines, les branches

Vue sur l'une des enceintes du site. Au centre, deux piliers représentent des figures humaines plus grandes que nature.

Surplombant le site, cet arbre à souhaits a longtemps été décoré par la population locale, qui attachait des rubans à ses branches, puis faisait des vœux.

Plaines fertiles de la haute Mésopotamie, là où serait née l'agriculture.

Hasan Yıldız observe les enceintes du site sur lequel il travaille depuis 25 ans.

d'un arbre ondulent sous la brise ; il s'agit d'un arbre à souhaits. Les gens y attachaient des rubans en faisant des vœux.

Quelque 12 000 ans auparavant, d'autres types de rituels étaient pratiqués sous les racines de l'arbre à souhaits. Des masques de pierre ont été mis au jour sur le site. Les occupants de Göbekli Tepe auraient retiré des crânes de sépultures, puis les auraient nettoyés et décorés avec du plâtre et des incisions. Certains d'entre eux portent des perforations, ce qui indique qu'ils étaient peut-être accrochés par une corde. Selon une étude parue dans *Science Advances* en 2017, cette pratique courante du néolithique illustre un possible culte des ancêtres.

Les piliers en T sont richement ornés de bas- et de hauts-reliefs. On distingue des animaux, surtout des prédateurs : renards, serpents, scorpions, félins, sangliers, vautours. Sur l'un des piliers, plus d'une cinquantaine de figures animales et abstraites semblent raconter une histoire. Certains piliers représentent des êtres humains plus grands que nature ; des bras sont dessinés et des mains se rejoignent au-dessus d'une ceinture et d'un pagne en peau de renard, la partie supérieure de la structure figurant vraisemblablement une tête sans visage.

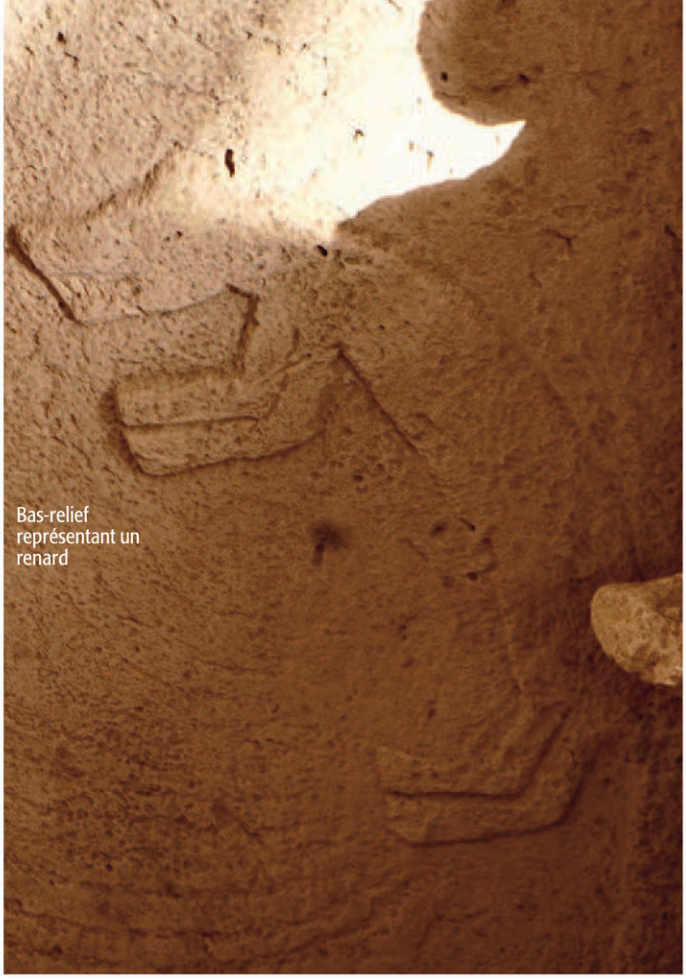
Difficile de comprendre la signification de ces dessins. Le site, désigné pendant plusieurs années comme le premier temple religieux de l'histoire, n'en serait pas vraiment un, au dire de Lee Clare et Jens Notroff (voir l'encadré à la page suivante). Ils expliquent qu'il n'y a aucune preuve de vénération de dieux et que l'usage du lieu n'était pas seulement associé aux rituels. « Göbekli Tepe était un pôle social où des groupes se rassemblaient pour échanger des informations, des biens ou des partenaires, estime Jens Notroff. Ces groupes ont créé une structure sociale temporaire, peut-être même une hiérarchie. Il faut assurément un type d'organisation sociale pour former quelque chose d'aussi monumental. »

« Pour la première fois de l'histoire, des chasseurs-cueilleurs ont des camps sédentaires fixes », observe de son côté Lee Clare, qui compare ces rassemblements à ceux des Premières Nations américaines.

Le site, désigné pendant plusieurs années comme le premier temple religieux de l'histoire, n'en serait pas vraiment un.

• PHOTOS : MIRIANE DEMERS-LEMAY

Bas-relief sur un pilier en T



Bas-relief représentant un renard

« Or, lorsqu'on devient sédentaire, on a tendance à avoir plus d'enfants, ce qui favorise la croissance de la population », poursuit l'archéologue, qui calcule que cette croissance a probablement entraîné une augmentation de la compétition pour les ressources ainsi que des conflits. Auquel cas, les rituels réalisés à Göbekli Tepe peuvent avoir joué un rôle pour renforcer l'identité d'un groupe et la cohésion sociale dans ce monde alors en transformation.

Sur le site, des touristes admirent ces fascinants vestiges, alors que des ouvriers continuent de tamiser la terre méticuleusement. Ce travail de moine pourrait durer longtemps : comme l'ont révélé des analyses radar, moins de 10 % du site a été excavé jusqu'à présent. Au fil des fouilles, d'autres éléments de réponse apparaîtront. Hasan Yıldız ne peut toutefois s'empêcher de regarder le site avec étonnement, même après 25 ans. « Pourquoi ont-ils fait ça ? » répète-t-il, incrédule. Une part de mystère du site pourrait bien subsister à jamais. ●

HALTE AUX THÉORIES FARFELUES !

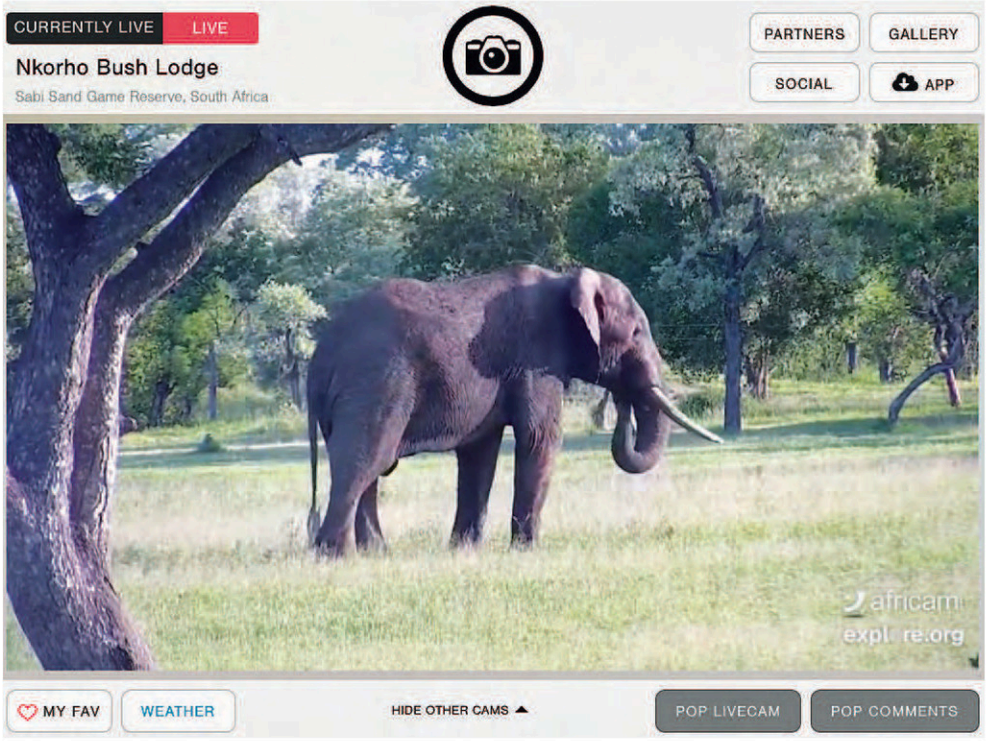
Depuis sa découverte, le site de Göbekli Tepe est l'objet de plusieurs spéculations pseudo-scientifiques, par exemple qu'il aurait été construit par les habitants de l'Atlantide. Certaines idées loufoques arrivent parfois à se faufiler jusque dans les pages de revues savantes, comme cette étude publiée en 2017 dans *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* qui affirmait que les habitants de Göbekli Tepe étaient de fins astronomes et qu'ils auraient gravé sur l'un des piliers le récit de l'impact catastrophique d'une comète. Les auteurs, des ingénieurs de l'Université d'Édimbourg, ont été vertement critiqués par des archéologues qui les ont accusés de faire fi de l'ensemble des connaissances acquises au cours des dernières décennies et de donner du poids à des hypothèses issues des cercles prétendument archéologiques.
En plus des théories farfelues, les chercheurs doivent composer avec la « réputation » de Göbekli Tepe. Les médias disent souvent du site qu'il est le « premier temple de l'humanité ayant conduit à l'avènement de l'agriculture », si bien qu'il est maintenant plus ardu de nuancer ou de modifier cette théorie à la lumière des nouvelles découvertes, selon Lee Clare. « Je ne veux pas de nouveau paradigme rigide », déclare le chercheur, qui ajoute que les études multidisciplinaires et les fouilles sur les sites archéologiques à proximité contribuent à faire évoluer nos connaissances sur Göbekli Tepe. « Après tout, c'est ça, la science. »

• PHOTOS : MIRIANE DEMERS-LEMAY

CULTURE

ÉMILIE FOLIE-BOIVIN @efolieb

REGARDER



Fenêtre sur le monde

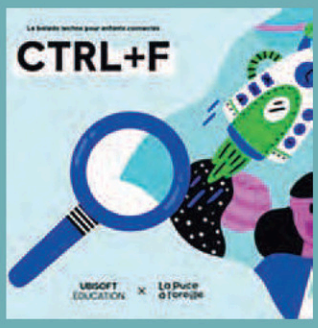
Alors que le safari dans la savane n'est pas vraiment une option et que plusieurs animaux locaux sont maintenant réfugiés dans leur terrier, repliez-vous sur la « télévision lente » qu'offrent les « caméras en direct ». Postées dans différents habitats dans le monde, elles nous confirment que les animaux sont divertissants. Une activité merveilleusement relaxante et toute désignée pour ceux qui ont du temps devant eux (et une généreuse bande passante !).

Le site Explore rassemble plusieurs « canaux ». Pour entrapercevoir un lion ou un éléphant, il faudra certes s'armer de patience. Si celle-ci vient à manquer, on pourra se tourner vers un sanctuaire de dindons, un nid de faucons ou les bisons du parc national des Prairies en Saskatchewan (dont le site mentionne même les meilleures plages horaires pour les observer). Les amateurs d'oiseaux seront réjouis par les mangeoires très fréquentées du Cornell Lab of Ornithology dans l'État de New York. Le plaisir est entier, surtout que la lentille est placée pour être au plus proche des volatiles !

Lorsqu'une caméra est fermée (la nuit par exemple), Explore propose les grands moments de la journée, de la saison et même de l'année : idéal pour combler le besoin d'un peu plus d'action. Et même si la vue dans le détroit de Johnstone, en Colombie-Britannique, est parfois embrouillée, le seul chant des baleines qui y passent en vaut la peine.

Si vous êtes las de voir les primates de la République démocratique du Congo s'épouiller, visez la Station spatiale internationale. Il arrive souvent que sa caméra perde le signal, mais quand on le retrouve, on est récompensé par des vues de la Terre — et l'on capte parfois des bribes de conversations entre astronautes. Ça surprend !

À voir sur explore.org et sur go.nasa.gov/3mPplvc



ÉCOUTER

Les jeunes ne savent pas tout des technos

Les jeunes de 8 à 12 ans ont droit à une initiation toute personnalisée à la science et aux nouvelles technologies avec *CTRL+F,* un balado réalisé par Ubisoft Éducation en collaboration avec la maison de production La puce à l'oreille. Faisant référence aux touches de clavier utilisées pour amorcer une recherche, cette série en court format initie son auditoire aux cyborgs, hypertrucages et voyages dans le temps au fil des conversations animées qu'ont les personnages Matthieu et Leïla avec des experts invités très décontractés.

Petit aparté : La puce à l'oreille produit depuis plusieurs années d'excellents documentaires audios jeunesse. Les autres créations de la maison valent d'ailleurs que vous visitiez son site Web.

CTRL+F, *sur votre plateforme de balados préférée.*

Pour les documentaires sonores de **La puce à l'oreille :** *lpalo.com*

REGARDER

Un amour tentaculaire

Si, comme moi, vous avez été époustouflé par la sagacité de la pieuvre qui se cachait de ses prédateurs en se parant de coquillages dans la série de la BBC *Blue Planet II*, le visionnement de *My Octopus Teacher* est un incontournable. Le film permet d'assister à l'amitié inusitée que le réalisateur Craig Foster a tissée avec une pieuvre. Au fil de ses plongées quotidiennes réparties sur une année, il a documenté l'ingéniosité et la curiosité de cet animal solitaire. Par ricochet, le réalisateur en tire des leçons qui donnent un nouveau sens à sa vie. L'attachement que le cinéaste éprouve pour le céphalopode est si profond que le film le mène à franchir les limites de l'éthique du documentaire animalier. Contemplant le magnétisme de cette pieuvre exceptionnelle, le spectateur ne peut lui en tenir rigueur.

My Octopus Teacher, *par Craig Foster, disponible sur Netflix.*

Bois d'allumage

De quel bois se chauffaient les meilleurs pilotes d'essai aspirant à conquérir l'espace? Telle est la question qui chicotait le journaliste et essayiste Tom Wolfe : il en a fait l'objet de son livre *The Right Stuff*, paru en 1979. Inspiré de cet ouvrage à succès, la série *L'étoffe des héros*, présentée sur Disney+, nous (re)plonge dans l'esprit des premiers jours du programme spatial. Les sept pilotes d'essai de la mission *Mercury* sortent ici de l'ombre, catapultant le spectateur 60 ans en arrière. Si la série permet d'assister aux tests médicaux et psychologiques discutables ainsi qu'aux jeux de coulisses politiques et médiatiques auxquels ont dû s'astreindre les candidats pour devenir des héros de l'espace, elle explore surtout l'univers plus personnel des astronautes. Frustrations de pilotes privés de leurs ailes, drames familiaux et rivalités internes (celle entre le charismatique John Glenn et l'insaisissable Alan Shepard s'établit d'ailleurs dès les premières minutes) ajoutent aux défis qui les attendent. Classique dans sa facture, cette série historique est aussi intrigante que la capacité surnaturelle de ces hommes intrépides d'avaler des whiskys du lever au coucher du jour sans jamais avoir la mauvaise tête des lendemains de veilles.

L'étoffe des héros, *par National Geographic, sur la plateforme Disney+.*

LIRE

La vérité avec un point d'interrogation

Il devient parfois difficile de départager la vérité avec un grand V des informations à la véracité discutable. Et le livre Fake news*: le vrai, le faux et la science* donne la preuve que nos cerveaux éduqués et sensés (mais aussi ceux de journalistes respectés) peuvent se fourvoyer. Notre chroniqueur Jean-François Cliche réunit ici 80 billets publiés dans *Le Soleil*, où il travaille. Injections de vitamine C, lunettes pour permettre aux daltoniens de voir les couleurs, augmentation des tornades en raison des changements climatiques, apport écologique des sacs de coton : les pendules sont remises à l'heure sur des sujets amusants ou préoccupants. L'auteur fait également la lumière sur les pièges et les raccourcis dans lesquels peuvent tomber les journalistes pour traiter leur nouvelle selon l'angle désiré et rappelle l'importance de l'expertise scientifique pour bien comprendre les enjeux de société. Un nouveau petit cours d'autodéfense intellectuelle parsemé de trucs pratiques pour aiguiser notre radar à bêtises.

***Fake news*: le vrai, le faux et la science,** *par Jean-François Cliche, Éditions MultiMondes, 252 p.*

LIRE

Dernière impression

Le titre de la bande dessinée scientifique *Vous avez détruit la beauté du monde* reprend la phrase puissante que la poète Huguette Gaulin a prononcée avant de s'immoler par le feu sur la place publique en 1972. Cet *ultima verba* fait écho au cœur du sujet d'un livre documentaire atypique et confrontant : l'histoire du suicide.

Fruit de la collaboration entre l'équipe du Groupe de recherche sur la sociologie historique du suicide au Québec à l'Université d'Ottawa et l'artiste Christian Quesnel, cet ouvrage est en quelque sorte une fusion entre une publication scientifique et une BD. Les auteurs y présentent des cas réels sélectionnés dans la base de données montée par l'équipe de recherche. Un outil imposant, puisqu'il recense près de 20 000 suicides confirmés et soupçonnés au Québec depuis 1763.

À l'aide de ces informations, les auteurs se penchent sur les moments précédant le dernier souffle avec sobriété et respect grâce au coup de pinceau sensible du bédéiste. Ici, point de photos brutales du coroner, une ultime image souvent aux antipodes de la dernière impression qu'a voulu laisser le défunt. Cette fenêtre sur le travail des chercheurs jette un éclairage nouveau sur un thème délicat.

Vous avez détruit la beauté du monde : le suicide scénarisé au Québec depuis 1763, *par Isabelle Perreault, André Cellard, Patrice Corriveau et Christian Quesnel, Moelle graphique, 69 p.*

Chef du département

Dès la première page, avec sa planche de cartes de vœux pour amis scientifiques (« On ne comprend toujours rien à ton travail, mais on est très fiers ! »), le bédéiste Tom Gauld vise dans le mille grâce à son nouveau *Département des théories fumeuses.* Faisant preuve de son habituelle finesse (on lui doit déjà *Vous êtes tous jaloux de mon jetpack* et *En cuisine avec Kafka*), il badine cette fois avec la science. Ces moments insignifiants de l'histoire de la science, sa version nichée des *Trois petits cochons*, ses clins d'œil absurdes à la physique quantique, à la biologie, à la chimie et aux réalités de la vie des chercheurs sont un délice pour les yeux du lecteur. On se découvre triste de tourner la dernière page !

Le département des théories fumeuses, *par Tom Gauld, Éditions Alto, 160 p.*

JEAN-PATRICK TOUSSAINT @JeanPatrickT

Il y a eu des bonnes nouvelles en 2020. Si, si !

L'an dernier, à pareille date, j'écrivais que l'année 2019 avait été terrifiante. Peut-être aurais-je dû me garder une petite gêne. Comment qualifier 2020, sinon qu'elle fait partie de ces années qu'on voudrait oublier ? Pandémie, incendies de forêt en Australie et sur la côte Ouest américaine, émissions de gaz à effet de serre (GES) à la hausse après une brève accalmie, rapport attestant la perte des deux tiers des populations animales en moins de 50 ans… Et comble de malheur, nous pourrions atteindre temporairement une hausse des températures enregistrées sur la planète de 1,5 °C au cours des cinq prochaines années… À travers ce bruit de fond troublant, peut-on encore trouver de bonnes nouvelles en matière d'environnement ? Permettez-moi d'essayer, question de susciter un peu d'espoir en ce début de nouvelle année.

1 La Chine donne le ton : son gouvernement souhaite atteindre la carboneutralité avant 2060. Si cet engagement survit au test du temps, cela pourrait contribuer à diminuer la température moyenne mondiale de 0,25 °C d'ici la fin du siècle tout en maintenant la croissance économique chinoise à moyen terme. Le Japon et la Corée du Sud ont d'ailleurs fait des annonces similaires.

2 La science contre-attaque ! Le nouveau président des États-Unis, Joe Biden, a fait référence à la science trois fois plutôt qu'une dans son discours de victoire. Et il a promis de réintégrer l'Accord de Paris, que son pays a officiellement quitté le 4 novembre 2020. J'aime !

3 Soixante-quatre leaders mondiaux (dont le Canada) se sont engagés à réduire la perte de biodiversité à travers le monde. Diminution de la déforestation, élimination des mauvaises pratiques de pêche, adoption de pratiques basées sur l'économie circulaire : espérons que ces mesures, et bien d'autres, tiennent la route.

4 Jamais l'énergie solaire n'a été aussi bon marché : c'est ce que nous a appris le rapport annuel sur les perspectives énergétiques de l'Agence internationale de l'énergie. Dans la plupart des pays, les installations solaires photovoltaïques sont désormais moins coûteuses que les nouvelles centrales électriques au charbon ou au gaz.

5 Une nouvelle électrisante : la Compagnie électrique Lion de Saint-Jérôme vendra ses camions à ordures électriques à la troisième compagnie en importance de collecte des ordures en Amérique, située au Texas – rien de moins !

6 L'île d'Anticosti dans la cour des grands ? La plus grande île du Québec est dans la course pour un classement au patrimoine mondial de l'Unesco. Plusieurs étapes doivent encore être franchies pour y arriver, mais l'appui du gouvernement québécois en vue de meilleures pratiques durables, notamment en foresterie, a permis de remplir l'une des exigences pour l'obtention du précieux titre.

7 Fini le plastique ! Depuis le 1er octobre 2019, les sacs de plastique ont été retirés des caisses de tous les détaillants IGA du Québec et du Nouveau-Brunswick. Un petit sac en moins, un grand pas pour l'environnement !

8 Wô, les moteurs ! La Californie a annoncé que, dès 2035, il ne sera plus possible pour les concessionnaires automobiles de vendre sur son territoire des voitures équipées d'un moteur à combustion. Comme c'est l'État où l'on achète le plus de véhicules aux États-Unis, voilà une pratique qui contribuera à la réduction des émissions de GES.

9 *Laudado si'*. Cinq ans après son encyclique, l'appel du pape François à agir sur la crise climatique et socioenvironnementale semble porter ses fruits, alors que plusieurs organisations catholiques désinvestissent des énergies fossiles. Amen !

10 L'Australie-Méridionale, championne du solaire. L'État qui m'a accueilli pour mes études doctorales est devenu la première administration mondiale à avoir comblé entièrement ses besoins énergétiques pendant une heure par l'énergie solaire ! Bien que bref, cet exploit pourrait bien être répété sur des périodes de plus en plus longues.

11 L'économie circulaire s'invite chez IKEA, qui a mis en place un système de rachat de certains meubles, en plus de commencer à offrir un service de réparation et de remise en état. De plus, la chaîne a créé une succursale où ne sont vendus que des articles usagés. Autre décision verte : son célèbre catalogue ne sera plus imprimé.

12 Qu'il s'agisse de la population de caribous migrateurs de la rivière George au Québec ou encore de la réintroduction du diable de Tasmanie en Australie, les efforts de conservation d'un bout à l'autre du globe donnent des résultats, alors que ces espèces reprennent du poil de la bête !

13 Une équipe de chercheurs a montré que le travail de protection des habitats marins et les pratiques de pêche plus durables au fil des dernières décennies ont amélioré l'état de certains écosystèmes marins. Les chercheurs affirment qu'il serait même possible, avec des efforts soutenus, de reconstituer l'abondance et la diversité de nos océans d'ici 30 ans.

14 Beauté, résilience et espoir. Le Miharu Takizakura ou cerisier pleureur fleurit toujours au Japon… après plus de 1 000 ans d'existence. Cet arbre majestueux qui a survécu à mille et une calamités nous offre une superbe métaphore après une année si difficile.

Certes, 2020 aura été tout sauf facile. À l'aube d'une nouvelle année pleine d'inconnues, laissons-nous inspirer par ce qui est possible et ne ménageons pas les efforts pour que la décennie qui s'amorce soit ancrée dans une véritable transition socioenvironnementale. ●

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

• IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM

LES PRIX DU QUÉBEC
culture • science

DÉCOUVREZ LES RÉCIPIENDAIRES 2020

Québec met en lumière ses plus grands scientifiques!

Isabelle Peretz
Prix Armand-Frappier

Création et développement d'institutions de recherche et promotion de la recherche

Claire Deschênes
Prix Lionel-Boulet

Recherche et développement en milieu industriel

Charles Morin
Prix Léon-Gérin

Sciences humaines et sociales

Mireille Cyr
Prix Marie-Andrée-Bertrand

Innovation sociale

Anne de Vernal
Prix Marie-Victorin

Sciences naturelles et génie

William Foulkes
Prix Wilder-Penfield

Recherche biomédicale

Valérie Langlois
Prix Relève scientifique

Prix du Québec 2021

Soumettez la candidature d'une personne au parcours exceptionnel entre le 15 janvier et le 16 mars 2021!

#PrixduQuébec | prixduquebec.gouv.qc.ca

Votre gouvernement

Québec

Dame Turbine

Ingénieure de renom, Claire Deschênes a contribué à l'amélioration significative des turbines qui sont au cœur de nos barrages hydroélectriques.

Les mots *première femme* sont gravés en lettres de feu dans le parcours de Claire Deschênes. Première femme professeure de génie à l'Université Laval. L'une des premières femmes à faire de la recherche sur les turbines hydrauliques au pays. Et aujourd'hui première femme à obtenir le Prix du Québec–Lionel-Boulet, la plus haute distinction accordée par le gouvernement dans le domaine de la recherche et du développement en milieu industriel.

« En entrant dans ma salle de classe à l'Université Laval en septembre 1974, j'ai réalisé que j'étais la seule femme de ma cohorte en génie mécanique, raconte-t-elle. Tous me regardaient avec un point d'interrogation dans le visage, y compris le professeur. J'ai rougi et je me suis assise sur le premier siège à ma portée. Mais les choses se sont placées au bout de quelques mois et je suis devenue l'une des leurs. »

Originaire de Shawinigan, une ville née avec les premières centrales hydroélectriques, Claire Deschênes constate très jeune le potentiel de cette industrie qui attire plusieurs grandes entreprises dans la région. « J'ai vu le génie comme une voie qui m'offrirait une carrière solide, un travail qui allait me soutenir toute ma vie », dit celle qui a rapidement nourri une passion pour les mathématiques et la physique.

Au cours de son baccalauréat, obtenu en 1977, elle découvre la mécanique des fluides. Puis elle fait ses premiers pas dans l'univers des turbines à Hydro-Québec, où elle sera ingénieure junior pendant deux ans. Curieuse et audacieuse, Claire Deschênes part ensuite en voyage autour du monde. À son retour, elle amorce une maîtrise sur l'analyse numérique des écoulements dans les labyrinthes des roues de turbines hydrauliques. Elle poursuit ces travaux au doctorat à l'Institut national polytechnique de Grenoble grâce à une bourse de l'Université Laval qui lui garantit un poste de professeure à son retour au Québec.

Elle revient de cette expérience outre-Atlantique avec des idées ambitieuses. « J'avais visité des laboratoires européens équipés de modèles réduits de grosses turbines hydrauliques. J'ai obtenu des fonds du gouvernement fédéral pour bâtir, petit à petit, un laboratoire selon les normes internationales en la matière », explique Claire Deschênes, dont l'expertise est reconnue de par le monde. On la surnomme même « madame Turbine » !

Après avoir gagné la confiance de l'industrie, la chercheuse met sur pied en 2007 le Consortium en machines hydrauliques avec des chercheurs de différentes universités, des fabricants canadiens de turbines et des producteurs d'énergie. Ils unissent leurs forces pour concevoir des outils afin de faciliter l'analyse des écoulements dans les roues des turbines. Il en résulte aujourd'hui des turbines plus durables et mieux adaptées, logées au cœur des barrages à travers le pays – ce qui permet une meilleure production d'hydroélectricité.

Place aux femmes

Claire Deschênes consacre aussi beaucoup de temps à promouvoir la place des femmes en sciences et en génie. Cet engagement, en plus de sa contribution à la recherche, lui vaut d'être nommée à l'Ordre du Canada en 2019. « Les collègues masculins ont toujours été gentils, mais les collègues féminines me manquaient, affirme-t-elle. Je me suis longtemps demandé pourquoi il y avait si peu de femmes dans le domaine. »

Elle creuse la question entre 1997 et 2005, alors qu'elle dirige la Chaire pour les femmes en sciences et en génie au Québec du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. « Quand on comprend un phénomène, on peut mieux agir pour le changer », indique celle qui s'apprête à aller porter des boîtes de documents liés à ses travaux de recherche aux Archives canadiennes des femmes en STIM (science, technologie, ingénierie et mathématiques) à l'Université d'Ottawa.

« L'histoire des femmes scientifiques et ingénieures au Canada en est encore à ses balbutiements, déplore-t-elle, parce qu'elles sont invisibles dans les archives traditionnelles. Ce matériel sera utile pour étudier la contribution des femmes dans ces secteurs. » Claire Deschênes a certainement été l'une des premières, mais elle veille à ne pas être la dernière.

Par Martine Letarte

La production de ce portrait a été rendue possible grâce au soutien du ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec.

• IMAGE : GOUVERNEMENT DU QUÉBEC

10 DÉCOUVERTES DE L'ANNÉE 2020

28e ÉDITION

quebecscience.qc.ca/**decouverte2020**

VOTEZ POUR VOTRE DÉCOUVERTE DE L'ANNÉE ET COUREZ LA CHANCE DE GAGNER

UN SÉJOUR FAMILIAL AU PARC NATIONAL DU MONT-MÉGANTIC*

· Deux nuitées en chalet EXP ou ÉCHO pour 4 personnes
· Un accès aux 60 km de sentiers du parc pour les 3 jours
· Une visite de jour de l'ASTROLab et de l'Observatoire du Mont-Mégantic
· Une soirée d'astronomie dans le cadre du Festival d'astronomie populaire du Mont-Mégantic

VALEUR de 575 $

* Ce forfait familial (2 adultes et 2 enfants) est valide pour l'été 2021, selon les dates du Festival d'astronomie populaire du Mont-Mégantic.

Sépaq

ASTROLab du parc national du Mont-Mégantic

Photo : Mathieu Dupuis

Pour participer et consulter le règlement du concours, rendez-vous au www.quebecscience.qc.ca/decouverte2020. Le vote et l'offre d'abonnement prennent fin le 8 février

IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM

DE *QUÉBEC SCIENCE*

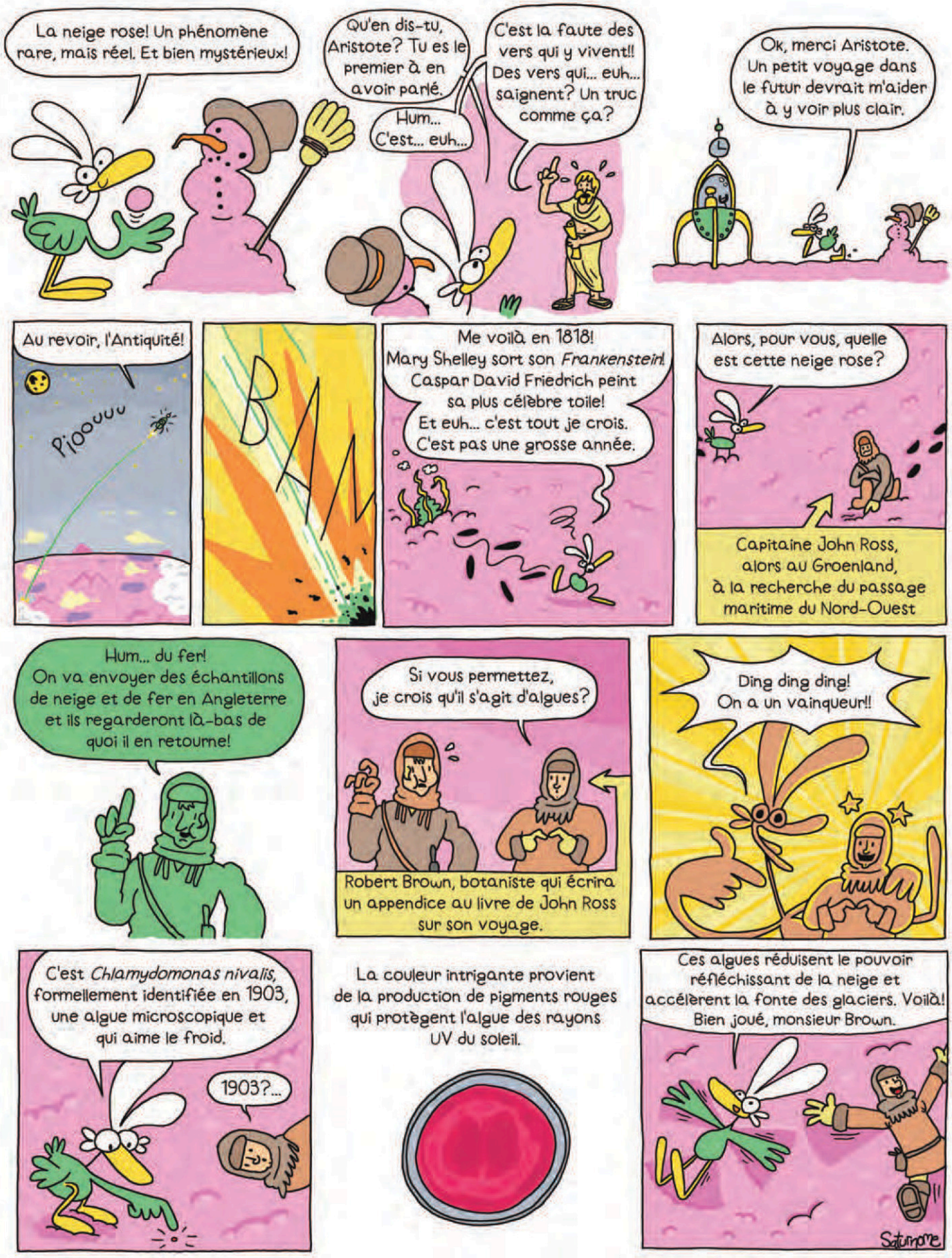
En participant, vous profitez d'une offre exclusive d'abonnement.

SEULEMENT
20 $ / 1 an
+ taxes

2021 à 23 h 59.

RÉTROVISEUR

L'HISTOIRE DES SCIENCES VUE PAR SATURNOME



Nous sommes l'Université du Québec

UQAM	Université du Québec à Montréal
UQTR	Université du Québec à Trois-Rivières
UQAC	Université du Québec à Chicoutimi
UQAR	Université du Québec à Rimouski
UQO	Université du Québec en Outaouais
UQAT	Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
INRS	Institut national de la recherche scientifique
ENAP	École nationale d'administration publique
ÉTS	École de technologie supérieure
TÉLUQ	Université TÉLUQ

Fort de ses 10 établissements, le réseau de l'Université du Québec :

- Est à **l'avant-garde** des développements scientifiques
- Contribue à l'**avancement** des connaissances
- Offre des programmes de recherche **diversifiés**
- Fait rayonner le **savoir québécois** sur tous les continents

© Photo : Mark Abbott

Près de 100 000 ÉTUDIANTS

1 300 PROGRAMMES

7 400 PROFESSEURS ET CHARGÉS DE COURS

+243 MILLIONS $ EN OCTROIS DE RECHERCHE

+500 GROUPES ET LABORATOIRES DE RECHERCHE, DONT **200** CHAIRES

Université du Québec

UQAM UQTR UQAC UQAR UQO UQAT INRS ENAP ÉTS TÉLUQ

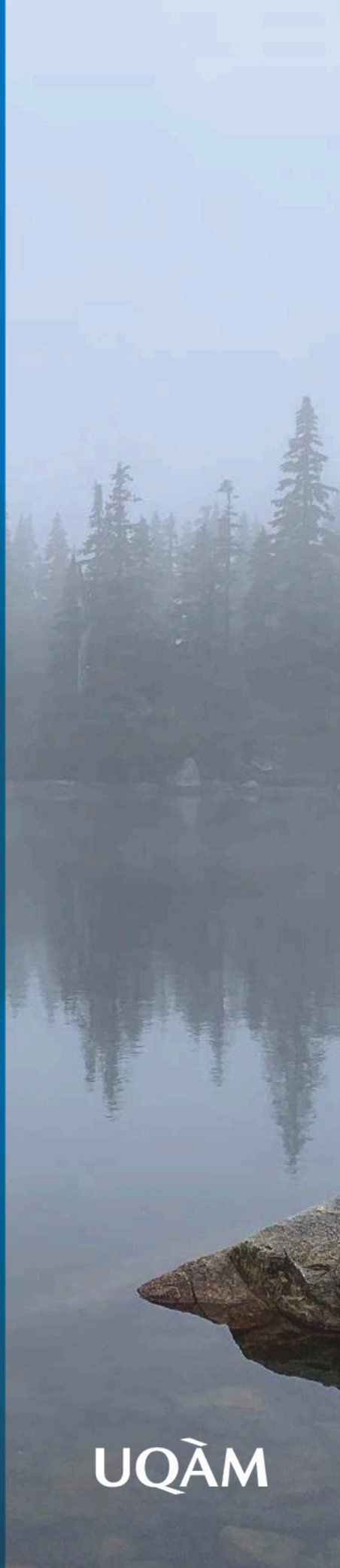
www.uquebec.ca @ReseauUQ @Université du Québec

Palmarès des 10 découvertes de l'année de *Québec Science* :

3 chercheuses s'illustrent pour leur étude sur l'impact de l'exposition au mercure sur l'espérance de vie des personnes autochtones

Au Canada, l'espérance de vie des personnes autochtones est d'environ 10 ans de moins que celle des non-autochtones.

Les chercheuses Aline Philibert, Myriam Fillion et Donna Mergler étudient la possible influence de la pollution environnementale pour expliquer cette différence, en collaboration avec la communauté autochtone de Grassy Narrows.



UQÀM