SEPTEMBRE 2022

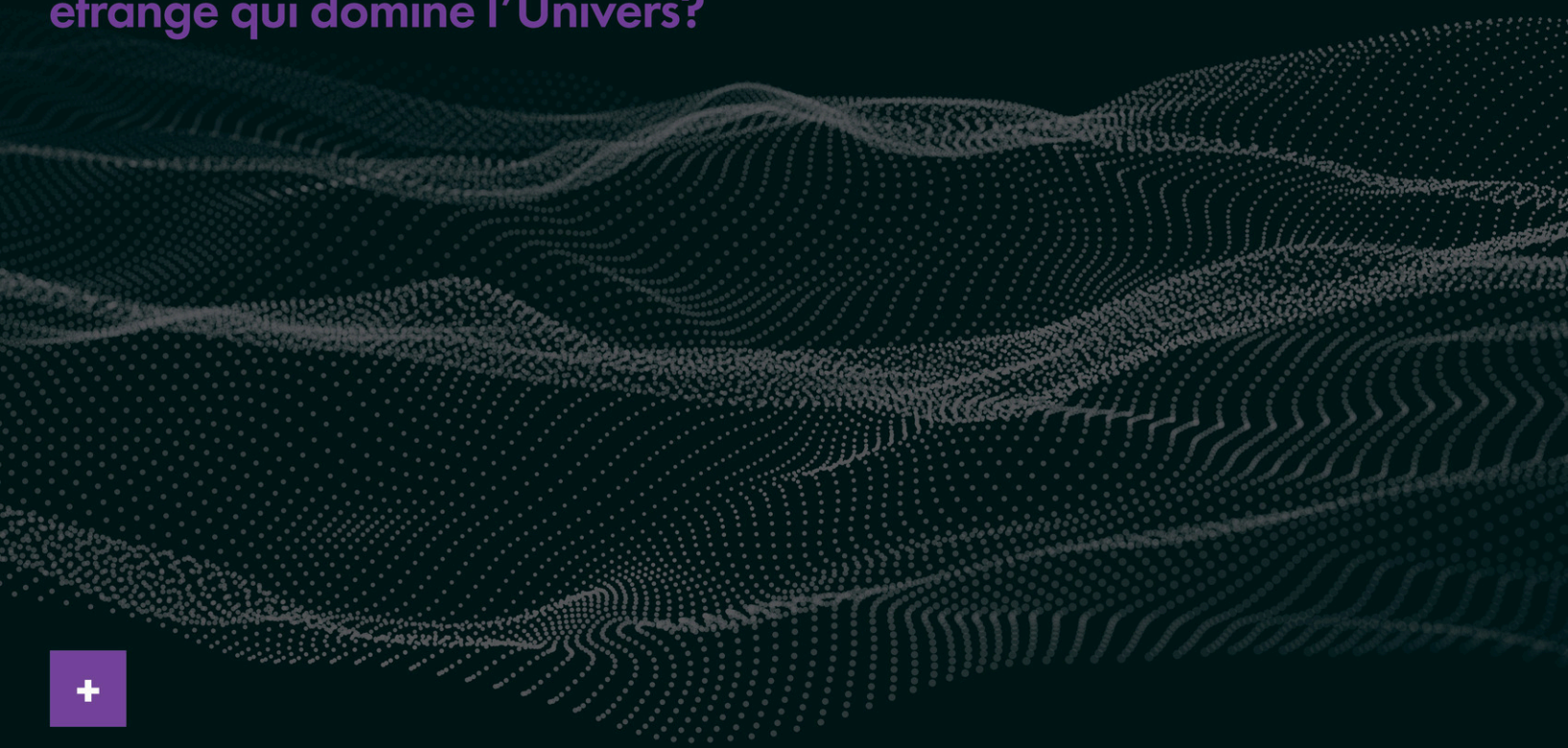
QUÉBEC SCIENCE

60 ans QUÉBEC SCIENCE

Fondé en 1962 • Fondé en 1962 • Fondé en 1962 • Fondé en 1962 • Fondé en 1962 • Fondé en 1962 • Fondé en 1962 •

Insaisissable énergie noire

Comment traquer cette force étrange qui domine l'Univers?



+

Zoom sur les dinosaures polaires

ADN : nouvel élan pour la généalogie

dès le 14 septembre | les mercredis à 22 h

à la télé et sur le web www.savoir.media

Acfas
Depuis 100 ans
Faire avancer les savoirs

Québec
Fonds de recherche – Nature et technologies
Fonds de recherche – Santé
Fonds de recherche – Société et culture

savoir. média

SOMMAIRE

SEPTEMBRE 2022

QUÉBEC SCIENCE

EN COUVERTURE

Le côté obscur de la force

P. 32

La mystérieuse énergie noire est traquée par de nouveaux instruments.

REPORTAGES

18 Un sous-marin à l'hôpital
Des chercheurs se penchent sur les vertus de la médecine hyperbare.

22 Les dinosaures polaires
De plus en plus de fossiles de dinosaures sont trouvés près des pôles Nord et Sud.

26 La recherche top secrète
Le Québec abrite le plus grand centre de recherche pour la défense du Canada.

38 Fracasser le mur du temps grâce à l'ADN
Les tests génétiques mènent à des découvertes généalogiques inédites.

44 Une place au soleil
Des chercheuses autochtones du Mexique renversent les stéréotypes.

50 Chercheuse en vedette
Marie-Laurence Lemay, la dompteuse de phages

SUR LE VIF

P. 6

6 Cabinet des curiosités
L'habit ne fait pas le moine, mais il révèle les secrets de nos ancêtres.

8 Un inventaire des semences d'antan
Les collections des banques de semences sont-elles complètes ?

10 La revanche des *nerds*
Les sciences de la nature sont de plus en plus populaires au cégep.

11 Crypto-Bismol
Des techniques de microscopie lèvent le voile sur le célèbre liquide rose.

14 Et si l'on abaissait l'âge du droit de vote ?
Les jeunes de 16 et 17 ans votent dans plusieurs pays. Une bonne idée ?

4 Édito par Mélissa Guillemette
Les premiers de classe

P. 12

5 Babillard | **9 Carnet de santé** Par la Dre Alexandra S. Arbour | **11 Technopop** Par Gabrielle Anctil | **12 Polémique** Par Jean-François Cliche | **52 Culture** Par Émilie Folie-Boivin | **54 Rétroviseur** Par Saturnome

ILLUSTRATION DE LA COUVERTURE : SHUTTERSTOCK.COM

MÉLISSA GUILLEMETTE @mguillemett

Éditorial

Les premiers de classe

Deux personnes se présentent en même temps au quai surplombant un magnifique récif de corail. Pour l'explorer à sa guise, chacune loue un équipement complet. La première a grandi dans une famille de plongeurs, l'autre n'a vu de bouteilles d'air comprimé que dans les films. Selon vous, qui a le plus de chances de se sentir comme un poisson dans l'eau ? De se rendre le plus loin ?

La réponse est évidente. Ce qui est moins connu, c'est que cette métaphore vaut aussi pour le milieu de la recherche.

À chaque rentrée scolaire, des étudiantes et étudiants dits « de première génération » commencent leur parcours aux études supérieures. Leurs parents n'ont été ni au cégep ni à l'université, mais qu'importe : ces jeunes font leur propre chemin !

Un chemin qui ne sera pas toujours de tout repos.

Car être une recrue de première génération, c'est souvent éprouver à la fois de la fierté et de la honte. C'est être fier de la route parcourue et honteux de ne pas avoir un bagage semblable au reste de la classe. Des travaux québécois datant de 2012 parlent même d'un « choc culturel », un peu comme celui qu'on peut vivre lors d'un voyage dans un pays très différent du sien. « J'ai du mal à entrer en relation avec les autres. On me dit que les autres me perçoivent comme quelqu'un de bizarre. Je détonne », a confié l'une d'elles à l'occasion d'un sondage mené par l'Université McGill il y a quelques années.

Ce sentiment explique peut-être que ces individus se tournent moins facilement vers leurs professeurs et leurs pairs pour surmonter les défis scolaires, a mis en lumière une revue de la littérature parue en 2020 dans le journal scientifique *Review of Educational Research*. Ils vont plutôt tenter de résoudre leurs difficultés de façon indépendante, avec l'aide d'Internet. Ils se sentent les seuls responsables de leurs apprentissages, alors qu'il faut tout un village pour obtenir un diplôme d'études collégiales, un baccalauréat, une maîtrise, un doctorat.

Être étudiant ou étudiante de première génération, c'est également se sentir tout à la fois capable et coupable. « Capable », car ils n'ont pas volé leur place, « coupable » parce qu'ils ne peuvent contribuer au revenu de la famille pendant leur formation ou parce que leur parcours paraît étrange aux yeux de leurs parents.

Cela ne signifie pas que ces parents découragent leurs rejetons dans leurs études, attention ! Une autre enquête, réalisée dans des facultés américaines de génie et publiée il y a deux ans dans l'*International Journal of STEM Education,* a montré que la population étudiante dans son ensemble mentionne l'importance du soutien familial. C'est le soutien procuré qui varie : les premières générations bénéficient d'un soutien affectif lors de leur choix de programme, puis d'encouragements pendant les semestres. Leurs collègues dont les parents avaient fait des études supérieures ont reçu plus d'informations relatives à leur domaine d'études pour effectuer leur choix de programme, en plus du soutien affectif pendant les études.

Sur Twitter, on célèbre désormais cette identité de première génération par le mot-clic #firstgen. Des étudiants et étudiantes, des personnes nouvellement diplômées, des membres du corps professoral partagent leurs bons coups, encouragent leurs semblables et revendiquent leur différence. Tant mieux ! Le meilleur antidote à la honte est la solidarité.

La recherche en éducation commence d'ailleurs à renverser son approche. Si l'on présentait traditionnellement les premières générations comme ayant un déficit à combler, on tente désormais de voir ce qu'elles apportent au monde de l'éducation et de la recherche ou de déterminer comment le milieu universitaire peut s'adapter à ces personnes plutôt que l'inverse. Enfin !

Des ressources existent pour les premières générations dans certains établissements. À l'Université de Montréal, la Bourse d'accessibilité Daniel Jutras, d'une valeur de 3 000 $, leur est réservée, tandis que le groupe de soutien 1st Up met des pairs en relation à l'Université McGill. Encore faut-il que l'information leur parvienne. Mon souhait est que tous ceux et celles à qui leurs parents ont passé le flambeau soient attentifs aux besoins des nouvelles et nouveaux venus en cette rentrée scolaire 2022. Tendez-leur la main sans attendre. Ils sont nombreux. En 2017, ils comptaient pour 59 % de l'effectif étudiant dans le réseau de l'Université du Québec (UQ), contre 41 % dans les autres établissements francophones et 34 % chez les anglophones. Plus on avance dans les études supérieures, moins ils sont nombreux, montre un rapport de 2019 de l'UQ, signe que la recherche apparaît encore comme une chasse gardée ou, à tout le moins, comme un espace nébuleux.

Alors que certaines tranches de la population perdent confiance en la science, peut-on se passer de futurs et futures scientifiques qui ont des réseaux différents, des perspectives complémentaires ?

Je suis moi-même une #firstgen. Si le baccalauréat m'avait permis de découvrir le monde de la recherche, qui m'était inconnu, qui sait, peut-être aurais-je fait grimper les statistiques des professeures et autres chercheuses #firstgen ? J'aurais probablement aimé la plongée…

BABILLARD

SEPTEMBRE 2022
VOLUME 61, NUMÉRO 2

Rédactrice en chef
Mélissa Guillemette
Rédactrice en chef adjointe
Marine Corniou
Journalistes
Annie Labrecque, Raphaëlle Derome
Collaborateurs
Gabrielle Anctil, Maxime Bilodeau, Jean-François Cliche, Émilie Folie-Boivin, Damien Grapton, Rachel Hussherr, Alexandra S. Arbour, Saturnome, Emmanuelle Steels, Jean-Pierre Sylvestre
Correctrices-réviseures Sophie Cazanave, Christine Dumazet
Directrice artistique Natacha Vincent
Photographes/illustrateurs/graphistes
Françoise Abbate, François Berger, Louise Bilodeau, Audrey Desaulniers/Orcéine, Félix Guimond, Aline Legault, Christinne Muschi, Bruno Paradis, Vigg

Éditeur Jean-François Rheault
Vice-présidente marketing, communications et partenariats
Marie-Hélène Juneau
Comptabilité Mimi Bensaid
Chargée de projets, communications marketing Maryvonne Charpentier
Conseillère, relations de presse et marketing Stéphanie Couillard
SERVICE AUX ABONNÉS :
514 521-8356, poste 504, ou
1 800 567-8356, poste 504
serviceclient@velo.qc.ca
PUBLICITÉ :
Claudine Mailloux
514 909-4601 cmailloux@velo.qc.ca
Impression Solisco
Distribution Messageries Dynamiques
Parution : 25 août 2022 (580e numéro)

Abonnement Canada, 1 an : 41 $ + taxes
États-Unis, 1 an : 84 $
Outre-mer, 1 an : 126 $
Québec Science est publié par Vélo Québec Éditions

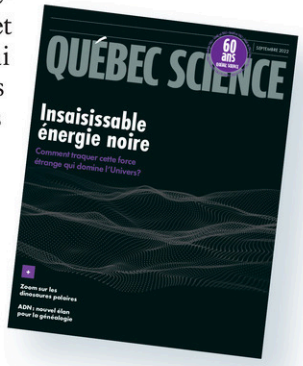
Dépôt légal : Bibliothèque nationale du Québec, Bibliothèque nationale du Canada :
ISSN-0021-6127
Envoi Poste-Publications Convention n° 40065387.
© Copyright 2022 – *Québec Science*. Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés.

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.

NOTRE COUVERTURE

Dans ce numéro, nous vous proposons de plonger dans la noirceur cosmique… Ma collègue Marine Corniou explique savamment ce qu'est l'énergie noire : « Une force étrange qui domine notre univers. » Saviez-vous qu'il y a seulement cinq pour cent de matière visible dans l'Univers ? Comme passionnée de la couleur, qui est au cœur de mon travail, cette donnée m'a renversée ! L'invisible ou l'insaisissable est carrément omniprésent. Pour illustrer le sujet en page couverture, j'ai choisi le noir. Toutes les autres couleurs sont des reflets de la lumière, mais lui ne fait pas partie du spectre visible des couleurs ; il est absence de lumière. Bonne lecture, à travers les nuances de noir du cosmos.



– Natacha Vincent, directrice artistique

MARINE EN COLOMBIE

Notre journaliste Marine Corniou a remporté une bourse du Fonds québécois en journalisme international. Elle aura bientôt l'occasion d'aller en Colombie pour réaliser un reportage qui sera ensuite publié dans le magazine. À suivre !

BIENVENUE À BORD !

Notre nouvelle chroniqueuse Technopop est Gabrielle Anctil. Cette ancienne travailleuse des technologies convertie en journaliste est une référence en la matière. Elle travaille notamment pour les émissions *Moteur de recherche* et *En ligne*. Elle a ce talent pour dénicher les sujets les plus originaux et un regard critique et sensible sur les effets des technologies sur la société. N'hésitez pas à communiquer avec elle si des enjeux précis vous intéressent : technopop@quebecscience.qc.ca !

COURRIER DES LECTEURS

Au sujet de notre éditorial sur l'écriture inclusive, qui citait la physicienne Pauline Gagnon

Et les infirmiers ?

Madame Gagnon utilise les termes « les physiciens et les physiciennes » quand elle parle. C'est super correct. Mais tout le monde ne précise pas cela. Ainsi, dans le domaine de la santé, on ne parle que des infirmières, sous prétexte qu'elles sont majoritaires ; pourtant, parler des infirmiers et des infirmières serait plus réaliste.
– Réjean Guay

Non sexiste et élégant

J'invite *Québec Science* à lire les recommandations de l'Office québécois de langue française (OQLF) pour une écriture non sexiste si ce n'est déjà fait. L'OQLF y travaille depuis 10 ans. […] L'OQLF recommande de limiter l'utilisation des doublets abrégés aux cas où l'espace est réduit, comme dans un tableau. De plus, l'OQLF insiste sur le fait que « tous les signes, excepté les signes doubles que sont les parenthèses et les crochets, entraînent des difficultés de rédaction, de lecture ou de compréhension ». Ce qu'on appelle « écriture inclusive » semble vouloir se démarquer par l'utilisation du « doublet abrégé avec point médian ». […] J'enjoins à *Québec Science* de s'élever au-dessus de la mêlée. *Québec Science* pourrait donner l'exemple en refusant de se soumettre au conformisme ambiant et en développant un style rédactionnel à la fois non sexiste et élégant en suivant les recommandations de l'OQLF.
– Raymond Aubin

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 : serviceclient@velo.qc.ca	**courrier@quebecscience.qc.ca** Magazine Québec Science 1251, rue Rachel Est Montréal (QC) H2J 2J9	**www.quebecscience.qc.ca**

LA GARDE-ROBE DE L'HISTOIRE

L'habit ne fait pas le moine, mais il révèle les secrets de nos ancêtres. Zoom sur quelques trésors rétro. **Par Marine Corniou**

Des peaux de bête au chandail bedaine, les vêtements ont toujours occupé une place centrale dans toutes les sociétés, protégeant nos corps glabres du froid, du soleil et de la rudesse de la vie. Loin de n'être que fonctionnelle, la tenue vestimentaire joue mille rôles : parure, symbole d'appartenance, indicateur de statut et de fonction, signe politique ou religieux, accessoire de transgression sociale… De plus, l'histoire de notre garde-robe est étroitement associée aux découvertes (vers à soie, teintures), aux progrès techniques (rouet, métier à tisser) et chimiques (polyester, élasthanne).

Quoi de mieux, donc, que les vieux bas, les fonds de pantalons et les robes démodées pour raconter une époque passée ? Hélas, les vieux vêtements se conservent horriblement mal ! Pour se figurer la mode d'antan, les archéologues doivent généralement se contenter de dessins, de textes ou de témoins indirects, comme les nombreuses aiguilles retrouvées sur des sites préhistoriques. Ou encore de traces de pieds chaussés de mocassins datant de 30 000 ans, découvertes il y a peu dans la grotte de Cussac, en France. En 2021, on a aussi mis au jour dans une grotte marocaine 62 outils en os permettant de racler des peaux ; ils auraient entre 90 000 et 120 000 ans, ce qui en fait les plus anciennes preuves d'une activité de tannage chez *Homo sapiens*. Mais ce sont surtout les textiles tissés ou tricotés, rarement préservés, qui captivent les archéologues. Ils témoignent d'un savoir-faire complexe et d'une utilisation créative des ressources. L'habileté à entortiller des fibres pour en faire des fils remonte à loin : une étude portant sur des fibres d'écorce, publiée en 2020 dans *Scientific Reports*, laisse entendre que les Néandertaliens maîtrisaient la technique, probablement pour fabriquer cordes et paniers.

BOUTS DE CHIFFONS

Le record du plus vieux tissu est toutefois détenu par une étoffe trouvée dans les années 1960 à Çatalhöyük, un site néolithique turc considéré comme la première ville du monde. « Ce tissu n'est pas vraiment un vêtement : il était enroulé autour de la dépouille d'un enfant posée dans une corbeille et enterrée sous le sol de la maison, indique Antoinette Rast-Eicher, chercheuse à l'Université de Berne et spécialiste des fibres anciennes. Sa fonction avant ce rite funéraire n'est pas connue. »

Il date de 6700 à 6500 avant notre ère et en a long à dire. Alors qu'on présumait jusqu'ici qu'il s'agissait de lin, sa véritable nature vient d'être révélée par l'archéologue dans un article paru dans *Antiquity*. « C'est du liber [écorce interne] de chêne ; j'ai trouvé des restes de cellules perforées typiques de cet arbre », précise-t-elle.

Si la soie, la laine, le coton et le lin figurent au palmarès des fibres les plus tissées de l'histoire, chaque peuple a d'abord utilisé ce qu'il avait sous la main : outre le chêne, on a découvert du tissu à base de palmier fabriqué il y a 7 000 ans par les premières communautés en Floride ; des vêtements confectionnés avec des bananes sauvages en Mélanésie ; et d'autres probablement faits d'agave au Pérou. Quant aux Dorsétiens de l'île de Baffin, ils utilisaient des fils tressés et tissés, à base de fourrure et de tendons de lièvre et de bœuf musqué, bien avant l'arrivée des Européens.

Au-delà des fragments textiles, quelques pièces quasi complètes ont tout de même traversé le temps, à l'instar de la « robe Tarkhan » découverte en Égypte en 1913. Selon les datations au carbone 14 effectuées en 2015, l'étoffe en lin daterait de la Ire dynastie, soit il y a plus de 5 000 ans, ce qui en fait le plus vieux vêtement tissé jamais exhumé.

Autre trésor : le doyen des pantalons, trouvé à Yanghai, en Chine, sur un guerrier mort il y a 3 000 ans environ. Sa confection en laine est remarquable. Dans un article paru cette année en mars, des chercheurs de l'Institut archéologique allemand détaillent les quatre techniques de tissage et de tressage employées pour conférer au vêtement solidité aux genoux et élasticité à l'entrejambe. Fait intéressant, ces techniques provenaient de différentes régions d'Asie. À la croisée de plusieurs routes nomades, les tisserands de Yanghai ont su combiner des artisanats pour offrir la tenue idéale à leurs combattants, qui commençaient tout juste à guerroyer à cheval.

Il y a fort à parier que les 130 milliards de pièces de vêtements fabriquées chaque année de nos jours dans le monde n'auront pas autant de choses à raconter. Dommage pour les archéologues du futur ! ●

À lire sur notre site Web :
« L'agriculture est née pour habiller les humains, pas pour les nourrir »

Aiguilles mises au jour à Xiaogushan et Zhoukoudian Upper Cave, en Chine, et à Strashnaya Cave, en Sibérie, et datées entre 45 000 et 30 000 ans.
IMAGE : FRANCESCO D'ERRICO, LUC DOYON, MALVINA BAUMANN (*JOURNAL OF HUMAN EVOLUTION*, 2018)

La robe Tarkhan, en lin, date de 3400 à 3100 avant notre ère. Elle a été trouvée dans un cimetière égyptien.
IMAGE : MUSÉE PETRIE D'ARCHÉOLOGIE ÉGYPTIENNE/UNIVERSITY COLLEGE DE LONDRES

Tissu de Çatalhöyük (6700-6500 avant notre ère)
IMAGE : ANTOINETTE RAST-EICHER/ARCHEOTEX

Le pantalon de l'homme de Turfan est considéré par les archéologues comme un trésor du « patrimoine culturel mondial ».
IMAGE : DOMINIC HOSNER/INSTITUT ARCHÉOLOGIQUE ALLEMAND

Chaussettes fabriquées autour du 4e siècle, exhumées en Égypte à la fin du 19e siècle. Elles étaient portées avec des sandales.
IMAGE : VICTORIA AND ALBERT MUSEUM, LONDRES

Un inventaire des semences d'antan

Protéger les plantes cultivées par nos ancêtres pour mieux nourrir l'humanité de demain : voilà l'objectif des banques de semences à travers le monde. À quel point ces collections sont-elles complètes ?

Par Rachel Hussherr

La populaire tomate Mémé de Beauce, une variété ancestrale du Québec, s'est taillé une place dans la banque de semences du Centre de recherche et de développement de Saskatoon.

L'agriculture s'uniformise dangereusement. Les plantes cultivées dans le monde auraient perdu plus de 75 % de leur diversité, selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Devant cette érosion, les efforts se multiplient depuis les années 1960 afin de conserver dans des banques de semences les variétés ancestrales, c'est-à-dire les plantes sélectionnées par des centaines d'années d'agriculture artisanale et locale. Mais jusqu'à récemment, il était difficile de dire si ces efforts avaient porté leurs fruits.

Une étude signée par plus de 50 chercheurs lève le voile sur la question. Une vaste modélisation a permis au groupe d'estimer qu'en moyenne 63 % de la diversité ancestrale des 25 groupes de plantes cultivées qui ont été sélectionnés pour l'étude était représentée dans les banques de semences à travers le monde.

Ces résultats, publiés dans le journal *Nature Plants* au mois de mai, sont très prometteurs, commente Julie Sardos, chercheuse en diversité génétique à l'organisme de recherche Biodiversity International et au Centre international d'agriculture tropicale. « Cela nous encourage à persévérer dans notre travail », soutient-elle.

Un travail d'inventaire colossal a d'abord été nécessaire pour récolter les données destinées à « nourrir » ces simulations par ordinateur. Pendant trois ans, de nombreux voyages, dans plusieurs banques de semences sur la planète, ont été effectués. Au total, les enregistrements de quelque 100 000 semences répertoriées un peu partout ont été passés en revue pour affiner le modèle. Le but des chercheurs : esquisser la biodiversité des plantes étudiées, leur répartition géographique et, finalement, leur représentation dans les diverses bibliothèques autour du globe.

Cet inventaire des variétés ancestrales a permis de mettre en évidence certaines lacunes. Alors que les variétés de lentilles et de bananes sont parmi les mieux représentées dans les banques, il existe des trous pour d'autres espèces. C'est le cas pour le millet perlé, les pois et les patates, dont la diversité des variétés ancestrales ne serait sauvegardée dans les collections internationales qu'à hauteur de 30 à 50 %. « Les trous sont surtout d'origine géographique », précise Julie Sardos, qui a participé à plusieurs voyages de collecte, notamment dans les îles de l'océan Pacifique. Certaines zones sont sous-représentées parce qu'elles sont difficiles d'accès ou soumises à un contexte politique tendu.

DIS-MOI CE QUE TU SÈMES, JE TE DIRAI QUI TU ES

Les cultures d'antan possèdent un bagage génétique précieux dans lequel il est possible de puiser pour créer de nouvelles variétés à cultiver, d'où l'importance de les protéger. Elles s'enracinent également dans l'histoire des communautés qui les ont développées. Les inventorier, c'est « faire une enquête pour mieux comprendre d'où l'on vient », indique Julie Sardos.

Les noms de certaines variétés sont imprégnés d'une histoire forte qui reflète l'identité culturelle d'un peuple. Ainsi, « le bananier Navente est intimement lié au mythe d'origine de la tribu de Bougainville [une île de Papouasie-Nouvelle-Guinée] : la plante aurait enfanté les jumeaux fondateurs de cette communauté », raconte la chercheuse.

C'est vrai chez nous aussi. « Les variétés ancestrales sont l'histoire d'une famille, d'un clan, des Premières Nations », assure Lyne Bellemare, productrice de semences ancestrales au Québec. Elle met d'ailleurs

IMAGE : TERRE PROMISE

un point d'honneur à reconstituer les « mémoires » des variétés locales, qu'elle rend ensuite disponibles sur le site Internet de son entreprise, Terre Promise. Sa tomate Mémé de Beauce, par exemple, a été retrouvée sous les planches d'un grenier lors d'une rénovation en 1995. Aucun potager n'avait été cultivé à cette adresse depuis plus de 60 ans. Sur les quelque 200 graines récupérées, 3 ont germé, accordant un second souffle à cette variété.

Si elle reconnaît l'importance des banques de semences, la productrice souligne que les plantes ont aussi besoin d'être cultivées pour continuer de s'adapter à l'environnement local, aux insectes, aux changements climatiques. « Si l'on réveillait quelqu'un en hibernation depuis 50 ans, il ne saurait pas comment utiliser un cellulaire », illustre-t-elle.

Les semenciers incarnent d'ailleurs un lien essentiel entre les collections à grande échelle et les jardiniers et agriculteurs, d'après Lyne Bellemare. Même si les banques rendent leurs semences accessibles gratuitement, « il faut prouver qu'on veut faire de la recherche, qu'on va cultiver la plante pour l'améliorer ou se servir de mécanismes de sélection pour les obtenir », dit celle qui a ramené du passé la Veine Rose, une variété de pomme de terre récupérée à la banque de semences de Fredericton, au Nouveau-Brunswick.

Du côté des scientifiques, le travail continue aussi. « Notre recherche, c'était surtout de la science pour l'action », mentionne Colin Khoury, l'un des auteurs principaux de l'étude. Le directeur de la science et de la conservation au jardin botanique de San Diego en sait quelque chose : il a répondu à la demande d'entrevue de *Québec Science* du Pérou, où il recherchait des variétés anciennes de la pomme de terre dans le berceau du tubercule, sur les hauts plateaux andins. ●

Dre ALEXANDRA S. ARBOUR @alexandraarbour

Carnet de santé

Cœurs sensibles s'abstenir

Vous voilà vieux et malade. Hospitalisé pour un problème X, votre cœur s'arrête… Quelques longues minutes s'écoulent avant qu'une vaillante infirmière remarque que vous êtes inerte dans votre lit. Ne sentant aucun pouls, elle déclenche le « code bleu » : une équipe accourt à votre chevet.

On débute illico la réanimation cardiorespiratoire ou RCR : de tout son poids, un préposé appuie sur votre sternum à raison de 100 fois par minute. Cric-crac ! C'est le bruit de vos côtes qui cassent… Une infirmière pique dans votre bras une grosse aiguille pour vous administrer médicaments et solutés. Au même moment, une inhalothérapeute aspire les vomissures dans votre bouche afin que le médecin y insère un tube qui ira jusqu'à vos poumons vous apporter de l'oxygène. Deux minutes passent. On prend la décision de défibriller : on vous envoie 200 joules dans le corps dans l'espoir de « redémarrer » votre cœur. Et l'on recommence à masser…

Si le pouls est toujours absent au bout d'une demi-heure, le médecin prendra la décision de mettre fin à la réanimation et déclarera votre décès. Si, au contraire, votre cœur se remet à battre, vous prendrez la route de l'unité des soins intensifs, où vous serez maintenu dans un coma artificiel pendant quelques jours. Émergerez-vous de ce coma ? Peut-être, mais il y a fort à parier que vous devrez passer plusieurs mois en rééducation pour retrouver vos capacités. Si vous faites partie des malchanceux, vous terminerez vos jours dans un CHSLD, ayant besoin d'être nourri, changé et lavé au quotidien.

Pour la « belle mort », on repassera. Cette mise en situation est peut-être crue, mais elle n'a rien d'une exagération. Une personne sur deux survit à un arrêt cardiaque survenu en milieu hospitalier. De 15 à 20 % des patients survivants sortiront de l'hôpital dans le même état qu'ils y sont entrés, et cette proportion diminue avec l'âge. Évidemment, plusieurs facteurs influencent le pronostic, principalement la cause de l'arrêt cardiaque, la présence de témoins et l'état de santé initial du patient. Cela entraîne des coûts énormes pour le système de santé et des conséquences importantes pour les patients et leurs proches.

La RCR n'est pas un soin miracle ni banal. Pourtant, une personne qui est hospitalisée ou dont l'état se détériore se voit systématiquement poser la question : « Si votre cœur s'arrête, souhaitez-vous qu'on pratique des manœuvres de réanimation ? » Peu de gens refusent ce soin présenté de la sorte, et ils ont tout à fait le droit ! Ils s'imagineront revenir à la vie sans heurt, comme dans les films.

Et si l'on avait pris le temps de parler du pronostic, d'explorer les volontés du patient quant à sa fin de vie en lui caressant la main, la décision aurait-elle été tout autre ? Eh bien non ! Une étude publiée dans le JAMA dans les années 1990 a confirmé qu'aborder le pronostic et accompagner les proches ne change pas la décision du plus grand nombre de vouloir être réanimé… Pourquoi ? Parce que choisir la RCR, c'est se battre et parfois, ça marche. Préférer s'en aller doucement, c'est jeter l'éponge.

À moins de changer la perspective ? Au lieu de voir la réanimation comme un possible gain de temps de vie, on peut la considérer comme la perte du privilège d'une mort sereine.

Voilà qui rappelle la « théorie des perspectives », qui a valu à l'un de ses auteurs, Daniel Kahneman, un prix Nobel. Cette doctrine économique veut que, comme individu, nous évaluions de manière asymétrique la perspective de perte et de gain, notre aversion pour les pertes étant plus grande que notre préférence pour les gains. Pourquoi ne serait-ce pas vrai aussi en matière de santé ?

Reprenons la mise en situation. Vous êtes vieux et malade. Vous allez à l'hôpital pour un problème X. Au lieu de savoir si vous voulez être réanimé, le médecin vous demande plutôt ce qu'est, pour vous, une belle mort… Moi, j'ai changé ma réponse. Et vous ? ●

La revanche des *nerds*

Les sciences de la nature sont de plus en plus populaires au cégep. On ne sait pas encore pourquoi.

Par Raphaëlle Derome

Ça bouillonne de plus en plus dans les laboratoires des cégeps. Lentement mais sûrement, les programmes de sciences font le plein d'étudiants. À la rentrée de 2015, les étudiants en sciences représentaient 29 % des inscrits du secteur préuniversitaire. Six ans plus tard, c'était 33 %. Une croissance modeste, mais constante, attribuable essentiellement aux adolescents.

Car si d'autres programmes (surtout ceux du secteur technique) attirent un mélange d'adultes, d'étudiants étrangers ou de cégépiens ayant changé de programme, les admis en sciences de la nature sont à 91 % des finissants de cinquième secondaire, selon le Service régional d'admission du Montréal métropolitain. Les courbes démographiques prévoient que la cohorte du secondaire croîtra jusqu'en 2026 : ça pourrait jouer du coude dans les labos au cours des prochaines années…

« On va avoir de la difficulté à les caser ! » s'exclame Caroline Cormier, enseignante de chimie au cégep André-Laurendeau. Contrairement aux classes de mathématiques ou de français, qui comptent régulièrement une quarantaine d'étudiants, les laboratoires de ce collège du sud-ouest de l'île de Montréal ne peuvent en accueillir que 32 à la fois.

Il faudra aussi recruter plus d'enseignants pour former tout ce beau monde. « Dans notre département, on cherche des gens qui ont une formation en chimie, oui, mais aussi un profil d'enseignant, et cela devient plus difficile à trouver qu'il y a quelques années », souligne son collègue Bruno Voisard, coordonnateur au département de chimie.

UN INTÉRÊT QUI SE MAINTIENT

Tous ces jeunes choisissent-ils la voie scientifique par intérêt ou simplement pour se garder toutes les portes ouvertes à l'université ? Après tout, traditionnellement, « quand on ne sait pas où l'on veut aller et qu'on a de bonnes notes, on va en sciences ! » remarque Pierre Doray, sociologue de l'éducation à l'Université du Québec à Montréal. Or, ceux qui s'inscrivent à l'université après l'obtention d'un diplôme d'études collégiales en sciences optent pour une discipline scientifique 8 fois sur 10. La part des sciences est aussi en croissance à l'université, puisqu'elle est passée de 28 % de l'effectif total de premier cycle en 2013 à 32 % en 2020.

Qu'est-ce qui explique la tendance ? Est-ce le fruit des campagnes de promotion des carrières scientifiques ? Les jeunes issus de l'immigration sont-ils plus susceptibles d'étudier en sciences que les autres ? Le ministère de l'Enseignement supérieur, l'Association pour l'enseignement de la science et de la technologie au Québec et les experts en éducation consultés par *Québec Science* n'avaient pas de réponses claires à offrir, certains étaient même surpris en prenant connaissance des données !

Caroline Cormier tente une hypothèse : « Peut-être qu'aujourd'hui la science est moins perçue comme une chasse gardée ? Ce sont peut-être les échos de la Révolution tranquille et du rapport Parent [ce document de 1963 a jeté les bases du système d'éducation public québécois], de cette volonté de démocratiser l'accès à l'éducation pour les francophones… »

Qui sait ? Voilà un bon objet d'étude pour les gens des sciences… humaines. Ça tombe bien, ils sont encore majoritaires dans les cégeps et les universités ! ●

IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM

Crypto-Bismol

Par Damien Grapton

Connu pour soulager les malaises gastriques, le Pepto-Bismol n'était pourtant pas facile à digérer pour les chimistes depuis sa commercialisation, il y a plus d'un siècle : la structure moléculaire de son ingrédient actif résistait à leurs analyses. C'est l'utilisation de techniques avancées de microscopie électronique qui a permis à une équipe suédoise de lever le voile sur le célèbre liquide rose. Les résultats des chercheurs ont été publiés dans *Nature Communications* en avril 2022.

Jusqu'ici, sa structure faisait l'objet de spéculations et de prédictions dans les livres de chimie. « Le sous-salicylate de bismuth [l'ingrédient actif] n'est pas soluble, explique Alexandre Gagnon, professeur de chimie à l'Université du Québec à Montréal (UQAM), qui n'a pas participé à ces travaux. Les méthodes traditionnelles ne fonctionnaient donc pas pour analyser sa structure. » C'est notamment le cas de la cristallographie aux rayons X, la méthode la plus répandue pour déterminer la structure des molécules, qui requiert des cristaux de bonne qualité en grande quantité, ce qui est impossible avec le sous-salicylate de bismuth.

« Le sous-salicylate de bismuth a tendance à former de très petits cristaux », poursuit Alexandre Gagnon, qui est titulaire de la Chaire de recherche UQAM en épigénétique et chimie médicinale. Les chercheurs de l'Université de Stockholm ont donc utilisé deux techniques de pointe. D'abord, « la diffraction avec un faisceau d'électrons plutôt que des rayons X permet d'étudier des cristaux de plus petite taille et de moins bonne qualité », mentionne le chercheur. L'analyse de l'interaction du faisceau d'électrons avec les cristaux de sous-salicylate de bismuth formés en laboratoire permet de déduire la structure de la molécule cristallisée. Ensuite, la microscopie électronique en transmission à balayage a permis de fournir une image de l'empilement des molécules.

L'équipe a ainsi découvert que le composé a une structure multicouche, avec des variations dans la séquence d'empilement des molécules. « La structure polymérique est très belle et explique pourquoi c'est un composé insoluble », commente Alexandre Gagnon.

Employé pour ses propriétés antimicrobiennes durant les épidémies de gastroentérites du début du 20e siècle, le Pepto-Bismol est le fidèle compagnon des estomacs fragiles. Selon Alexandre Gagnon, décrypter sa structure permet de mieux comprendre son mécanisme d'action. « On prend du Pepto-Bismol depuis 120 ans et l'on va continuer d'en prendre, mais peut-être que ces travaux vont permettre de mettre au point un médicament encore plus efficace », conclut-il. ●

GABRIELLE ANCTIL @_ganctil

Technopop

Les mégadonnées de votre utérus

Avec l'accroissement des applications de suivi menstruel, les données sur les règles sont de plus en plus abondantes… Et c'est tant mieux : un tel suivi aide à garder un œil sur sa santé globale.

Mais ces données ne sont pas toujours utilisées à bon escient. « Si vous suivez vos cycles menstruels grâce à une appli, cessez de vous en servir et détruisez vos données. Maintenant », enjoignait sur Twitter l'avocate américaine Elizabeth C. McLaughlin au lendemain de la fuite d'un document révélant le renversement prochain du jugement protégeant le droit à l'avortement aux États-Unis.

L'effet potentiellement pervers de la collecte massive de ce type de données sur les droits sexuels, comme celui à l'avortement, inquiète les experts depuis de nombreuses années. Avec l'annulation de l'arrêt Roe c. Wade, la crainte que ces données puissent être employées dans des poursuites judiciaires continue de défrayer la chronique. Malgré l'anonymat qu'est censé offrir le grand volume de données, de multiples études ont prouvé qu'il est facile de combiner les sources pour retrouver à qui les données appartiennent.

La solution est-elle réellement de supprimer son application de suivi menstruel ? « Dire aux gens de ne pas utiliser ces plateformes puissantes s'ils ne veulent pas être surveillés déraisonnablement équivaut à blâmer la victime », écrivait la chroniqueuse Zeynep Tufekci dans le *New York Times*. Selon l'informaticienne, il est plus que temps que les pays légifèrent pour protéger les utilisateurs en imposant aux entreprises des mesures strictes de chiffrement des données.

Au Québec, la Loi modernisant des dispositions législatives en matière de protection des renseignements personnels doit entrer en vigueur cet automne. Elle encadrera la collecte de données par les entreprises opérant dans la province.

Mais si c'est de l'État qu'on souhaite se protéger ? Pour le moment, c'est à nous de connaître et de choisir les outils qui respectent la vie privée. Pour le suivi menstruel, les applications Drip, Euki et Periodical reçoivent l'aval d'experts.

Il faudra beaucoup plus pour assurer aux internautes un respect de leur vie privée sur le Web. Leur santé en dépend. ●

IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM ; ILLUSTRATION : NICOLE ALINE LEGAULT

JEAN-FRANÇOIS CLICHE @clicjf

Polémique

Naître à l'ombre d'un puits de gaz de schiste

« Une étude, c'est juste une étude », dit-on en journalisme scientifique pour signifier qu'il vaut toujours mieux attendre que des résultats soient reproduits avant de s'affoler. Dans le cas du lien entre l'extraction de gaz de schiste et la santé des nouveau-nés, il y a longtemps qu'on a dépassé ce point : les questionnements sont légitimes.

L'exploitation des gaz de schiste, rappelons-le, consiste à injecter des fluides sous très haute pression dans des formations géologiques profondes afin de les fracturer et d'en libérer le gaz naturel. La technique fait craindre que les fluides de fracturation, qui contiennent de nombreux produits chimiques, remontent contaminer les nappes phréatiques, bien qu'on n'ait jamais fait la preuve d'un risque élevé.

Les études sur les bébés nés à proximité de puits de gaz de schiste, elles, montrent plus clairement qu'il semble y avoir un problème, même s'il reste encore une part de flou. Elles n'ont pas toutes observé exactement la même chose, mais il s'en dégage quand même une tendance assez nette. Les unes ont trouvé une association avec les naissances prématurées, mais pas avec les bébés de faible poids, alors que d'autres ont établi le contraire ou même un lien avec la mortalité fœtale. Certains travaux ont rapporté un lien entre le nombre de puits situés à moins de 2,5 km des habitations et les problèmes néonataux, tandis que d'autres ont relevé un effet à des distances allant jusqu'à 10 km. Par ailleurs, ce ne sont pas toutes les études qui décèlent ce type d'association. Mais dans l'ensemble, tout indique qu'il se passe quelque chose à proximité des puits de gaz de schiste et que ce « quelque chose » nuit au développement du fœtus.

Les choses se corsent quand on tente de mettre le doigt sur les mécanismes exacts qui pourraient être en cause. Dans des études dirigées par la toxicologue de l'Université de Toronto Élyse Caron-Beaudoin, on a découvert que la densité de puits autour d'une résidence était associée à des concentrations plus élevées de composés organiques volatils (ou COV : comme le chloroforme, le xylène ou le toluène) à la fois dans l'air et dans l'eau des maisons. La source de ces polluants n'était toutefois pas clairement établie, même si les fluides de fracturation sont un « suspect » évident. Les travaux scientifiques sur la question ont proposé une myriade d'autres causes potentielles imputables à l'industrie des gaz de schiste, au-delà de la fracturation. L'intense camionnage qui accompagne le forage et la fracturation de ces puits est une source de stress potentiel, que ce soit par le dérangement qu'il occasionne ou par ses conséquences sur la qualité de l'air. Une étude menée dans le nord-est de la Colombie-Britannique a aussi mis au jour des fuites dans environ 10 % des puits (surtout des émanations de gaz ; les migrations de liquides hors des enveloppes de ciment étaient beaucoup plus rares). Et le torchage, soit le fait de brûler une partie du gaz qui sort d'un puits, est également sur le banc des accusés.

Fait intéressant : dans plusieurs de ces travaux, les effets nocifs étaient concentrés (parfois entièrement) chez des femmes appartenant à des groupes défavorisés, comme les femmes de couleur et les hispanophones aux États-Unis ou les Autochtones au Canada (Élyse Caron-Beaudoin a mesuré plus de COV dans les résidences des Autochtones que dans celles des non-Autochtones). « Une de nos hypothèses, dit la chercheuse, est que certains groupes comme les agriculteurs et les populations autochtones dans le nord-est de la Colombie-Britannique sont plus vulnérables aux effets de cette industrie en raison de leurs contacts plus étroits avec l'environnement, ce qui pourrait augmenter leur exposition à ces produits. Il y a également une panoplie d'expositions non chimiques liées à cette industrie – bruit, pollution lumineuse, stress – qui peuvent affecter certains groupes de façon disproportionnée : il y a plusieurs études sur ces sujets. Finalement, nous savons que certains groupes socio-économiques souffrent d'iniquités en matière de santé [malnutrition, expositions antérieures à d'autres polluants par exemple] qui peuvent être exacerbées par une exposition environnementale supplémentaire. »

L'industrie interprète ces vulnérabilités différemment, faisant souvent valoir que les problèmes néonataux surviendraient sans égard aux activités industrielles aux alentours, en raison du niveau de défavorisation des régions où se déroulent souvent ses activités. Elle avance également qu'il est possible que les secteurs propices à l'exploitation des gaz de schiste soient naturellement associés à des concentrations plus fortes de certains contaminants.

Il se pourrait qu'une partie des écarts constatés tienne effectivement à cela. Quoi qu'il en soit, l'heure n'est plus à se demander s'il y a vraiment un problème, mais plutôt à en déterminer (urgemment) les causes. ●

ILLUSTRATION : VIGG

UN CONCOURS POUR LES CLASSES, LES JEUNES ET LES ADULTES

21 SEPTEMBRE 2022

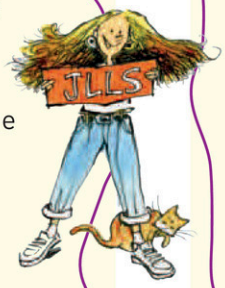
Journée nationale Je lis la science!

UNE PRÉSENTATION DU CONSEIL DE RECHERCHES EN SCIENCES NATURELLES ET EN GÉNIE DU CANADA

Participez en classe ou à la maison

Le 21 septembre*, les jeunes, les adultes et les classes des écoles primaires et secondaires canadiennes sont invités à consacrer un moment de la journée à des lectures scientifiques :

- livre documentaire
- magazine de vulgarisation scientifique
- roman de science-fiction
- BD sur un thème scientifique
- biographie d'un chercheur
- etc.



Détails du concours et inscriptions :

www.jelislascience.com

* Pour tenir compte des contraintes possibles des enseignants, la période de lecture pourra être tenue le 20, 21 ou le 22 septembre.

Prix à gagner

5 000 $ de livres et magazines*

GRAND PRIX

Un bon d'achat de **1 000 $** chez **leslibraires.ca** pour la classe gagnante

PRIX SECONDAIRES

- Quatre prix d'une valeur de **500 $** chacun pour les classes
- Cinq prix d'une valeur de **200 $** chacun pour les jeunes en participation individuelle
- Cinq prix d'une valeur de **200 $** chacun pour les adultes en participation individuelle

* Les prix sont tirés au hasard parmi toutes les inscriptions reçues dans chaque catégorie. Les lots de livres et magazines sont faits en fonction du niveau scolaire ou de l'âge des gagnants.

Découvrez une foule de suggestions de lecture au :

www.jelislascience.com

ou avec le mot-clic #jelislascience

Organisé par :

Publications bld — Les explotateurs — Débrouillards — CURIUM

En collaboration avec :

CRSNG NSERC

Partenaires :

Semaine de la culture scientifique — Les libraires.ca — Éditions Michel Quintin — Éditions Multimondes — bayard canada — Presses Aventure — Québec Science — Nature sauvage — Québec Oiseaux — L'actualité — Gallimard Diffusion jeunesse — Groupe d'édition la courte échelle — Groupe Fides — les éditions La Presse — ACS Association des communicateurs scientifiques du Québec — Science pour tous! — Les Amis du Jardin botanique de Montréal — Cosmodôme — aestq — AQEP — Fédération des établissements d'enseignement privés — Association des bibliothèques publiques du Québec — Innovateurs à l'école — CJ Communication Jeunesse

Et si l'on abaissait l'âge du droit de vote ?

Les jeunes de 16 et 17 ans devraient-ils avoir le droit de vote ? Le Sénat du Canada en a débattu au printemps. Plusieurs pays le permettent. Qu'en dit la recherche ?

Par Raphaëlle Derome

IMAGE : ÉLECTIONS QUÉBEC

P

rès d'un Canadien sur cinq a moins de 18 ans. Même s'ils sont et seront touchés par les actions (ou l'inaction) des gouvernements, enfants et adolescents ne peuvent choisir leurs représentants politiques.

Si certains groupes proposent d'abolir l'âge minimal pour voter, des partis politiques et organismes de la société civile, comme le mouvement #Vote16 et Unicef Canada, se sont prononcés en faveur du vote dès 16 ans. La sénatrice manitobaine Marilou McPhedran pilote même un projet de loi en ce sens !

Alors que le Québec s'apprête à choisir son prochain gouvernement, nous avons discuté du sujet avec Valérie-Anne Mahéo, professeure au Département de science politique de l'Université Laval et membre du Centre pour l'étude de la citoyenneté démocratique. Spécialiste de l'engagement politique chez les jeunes, elle croit que la société aurait tout à gagner à les éduquer à la démocratie… dès la maternelle !

Québec Science : Au Canada et ailleurs dans le monde, l'âge du droit de vote a longtemps été fixé à 21 ans. À quel moment et pour quelles raisons a-t-il été abaissé à 18 ans ?

Valérie-Anne Mahéo : Cette réforme a eu lieu un peu partout dans les pays démocratiques dans les années 1960-1970. L'idée était d'être en phase avec d'autres marqueurs de la vie adulte : comme les jeunes de 18 ans étaient déjà en âge de travailler, d'être parents, de conduire, on considérait qu'ils devaient aussi avoir le droit de voter. Il n'y a pas eu de grand débat.

Cet argument est de nouveau utilisé aujourd'hui par ceux qui sont en faveur du vote à 16 ans. Ils voient dans la situation actuelle une inadéquation entre la citoyenneté économique et la citoyenneté politique.

QS Vous étudiez la désaffection électorale chez les jeunes adultes. Est-ce qu'abaisser l'âge légal du vote pourrait renverser la vapeur ?

VAM Au Canada et dans beaucoup de pays industrialisés, la participation électorale diminue ; chaque nouvelle génération vote moins que les jeunes d'avant. Le contexte du premier vote, à 18 ans, n'est pas forcément idéal : beaucoup de jeunes quittent le milieu familial à cet âge, déménagent pour les études, le travail… On

IMAGE : OWEN EGAN

leur demande de s'intéresser à la politique alors qu'il y a tous ces changements dans leur vie ! Certains suggèrent donc d'offrir une première expérience de participation électorale à 16-17 ans, quand ils sont encore chez leurs parents et à l'école. Ces milieux peuvent les aider à s'informer, à se mobiliser et, on l'espère, à aller voter.

QS Le vote à 16 ans existe déjà dans certains pays. Quelles en sont les retombées ?

VAM Partout, quand on donne le droit de vote aux 16-17 ans, ils se présentent aux urnes, du moins la première fois ! On l'a vu en Écosse [où plus de 100 000 d'entre eux ont voté au référendum de 2014], en Autriche, dans les lands allemands et lors de projets pilotes aux municipales en Norvège.

Il est difficile de vérifier si cet effet se maintient dans le temps. Dans plusieurs pays, les données sur la participation électorale par groupes d'âge ne sont pas publiques. Il faut donc se fier à des sondages qui demandent aux répondants s'ils ont voté ou s'ils ont l'intention de voter à la prochaine élection… On ne sait pas si ces études estiment de manière fiable et précise la portée de la réforme.

On peut supposer que ces jeunes votent davantage, même par la suite, car généralement, quand on commence à voter, on continue à le faire.

QS Militez-vous pour la cause ?

VAM Certains de mes collègues se sont déclarés en faveur du vote à 16 ans. Moi, je suis une politologue empirique : je ne me base pas juste sur la théorie pour juger d'une situation, je me fonde aussi sur les preuves. Et pour moi, elles ne sont pas nettement en faveur d'une réforme.

Je pense néanmoins que le vote à 16 ans a le potentiel d'augmenter la participation électorale des jeunes et leur intérêt pour la politique, surtout si on l'accompagne d'éducation à la citoyenneté.

QS Quels sont les arguments de ceux qui s'opposent au vote à 16 ans ?

VAM Ils s'inquiètent de la qualité de la participation électorale. Ils jugent que les jeunes ne sont pas assez matures ou sophistiqués politiquement pour avoir un vote informé. La démocratie pourrait en pâtir, selon eux.

QS Les jeunes de 16 ans sont-ils vraiment moins matures que ceux de 18 ans ?

VAM Avec mon collègue Éric Bélanger, nous avons comparé les attitudes, l'engagement et la sophistication politique des jeunes de 16-17 ans avec ceux des 18-20 ans. Nous avons démontré que les 16-17 ans connaissent mieux les institutions politiques. Ils sont encore à l'école et c'est donc frais dans leur mémoire. Ils ont aussi plus d'intérêt pour la politique que les 18-20 ans. Cela nous amène à penser que les 16-17 ans voteraient probablement autant que les 18-20 ans si on leur accordait ce droit.

Par contre, les 18-20 ans se sentent un peu plus outillés pour comprendre la politique. Et quand nous leur posions des questions sur différents sujets, leurs idées étaient plus cohérentes. Mais la différence n'était pas très marquée entre les deux groupes. Et dans l'ensemble, nous n'avons rien trouvé qui laissait craindre un danger pour la démocratie si les 16-17 ans votaient.

QS Certains contestent l'idée même d'un âge minimal pour voter. Accorder le droit de vote à 12 ans ou même aux plus jeunes, est-ce réaliste ?

VAM Personnellement, je ne suis pas en faveur de cette idée. Ce serait un gros poids sur les épaules d'enfants qui ne possèdent pas forcément les outils, d'un point de vue cognitif, pour assumer cette responsabilité. Je pense qu'il faut mettre des limites, mais où ? Là est la question.

QS On considère souvent que les jeunes sont influencés par leurs parents. Mais vous étudiez aussi l'inverse : l'influence qu'ont les enfants sur leurs parents !

VAM La théorie sur la socialisation politique, soit l'apprentissage de la politique, a toujours vu les enfants comme une page blanche que les parents et les professeurs peuvent remplir de leurs valeurs. Mais les enfants ne sont pas passifs !

Il y a quelques années, j'ai donné un atelier sur la démocratie dans la classe de maternelle de mes enfants. Après, des parents m'en ont reparlé : leur enfant avait vu des pancartes électorales et les incitait à voter. À cinq ou six ans ! J'étais ébahie ! Cela m'a fait réaliser que l'apprentissage de la politique n'est pas nécessairement unidirectionnel. Les enfants peuvent éduquer leurs parents, éveiller leur intérêt et même les mobiliser.

QS Comment stimuler cette dynamique ?

VAM En 2017, avec Élections Québec, nous avons testé une activité d'éducation à la démocratie dans des classes de cinquième et sixième année. Nous y abordions le vote, les pétitions, les manifestations, la relation avec son député et les médias. Après l'atelier, les jeunes avaient plus de connaissances par rapport à la politique. Leurs parents aussi, et ceux-ci sont davantage allés voter aux élections municipales que les autres !

Puis, en 2018, il y a eu les « petits bureaux de vote » aux élections provinciales. Le but était d'offrir aux enfants une première expérience de participation électorale :

FAIRE VOTER LES ENFANTS ?

En décembre 2021, 13 Canadiens de 12 à 18 ans ont déposé à la Cour supérieure de l'Ontario une contestation judiciaire de l'âge du droit de vote. Appuyés par l'organisme d'aide juridique Justice for Children and Youth, ils arguent que les empêcher de voter est anticonstitutionnel et discriminatoire.

L'article 3 de la Charte canadienne des droits et libertés prévoit en effet que chaque citoyen canadien a le droit de vote. L'article 15 stipule quant à lui que les lois s'appliquent à tous de manière égale, peu importe l'âge. Le recours pourrait être entendu au plus tôt l'an prochain.

Une poursuite similaire avait été rejetée en 2002 en Alberta. Le tribunal avait reconnu la violation des droits constitutionnels des jeunes, mais jugé qu'elle était justifiée par l'importance de protéger l'intégrité du système électoral.

remplir un bulletin de vote et le déposer dans l'urne [ils ne choisissaient pas de candidats, mais se prononçaient sur l'importance du vote]. Certains enfants ont aussi reçu un carton les invitant à venir voter. Cela a fonctionné : au lieu de voter seuls, les parents se sont rendus au bureau de scrutin avec leurs enfants. Voir son parent voter est un modèle fort.

QS Pourquoi est-ce important que les jeunes participent aux élections?

VAM Les jeunes ont des besoins différents du reste de la population, que ce soit en matière d'éducation, de logements abordables, de santé. Ils sont plus ouverts à la diversité et plus inquiets des changements climatiques. S'ils votent moins, c'est dramatique, car les politiques publiques ne refléteront pas leurs intérêts.

QS Le pays de Galles a nommé une commissaire aux générations futures. Elle aide les décideurs à soupeser l'effet à long terme de leurs décisions. Si l'on avait la même chose ici, qu'est-ce qui changerait ?

VAM Cela pourrait compenser un peu le fait que les jeunes votent moins. Les constructions d'autoroutes, le troisième lien [un projet de tunnel entre Québec et Lévis] et l'exploration pétrolière ne seraient probablement pas aussi populaires si l'on avait des mécanismes législatifs pour mieux aligner les politiques publiques sur les préoccupations des nouvelles générations. ●

OBTENTION DU DROIT DE VOTE AU CANADA

1867 : hommes propriétaires de 21 ans et plus
1918 : femmes propriétaires de 21 ans et plus
1947 : non-propriétaires et Canadiens d'origine asiatique
1960 : membres des Premières Nations avec statut d'Indien
1970 : personnes de 18 ans et plus
1993 : personnes avec une déficience intellectuelle
2002 : détenus purgeant une sentence de plus de deux ans
2019 : citoyens expatriés depuis plus de cinq ans

VÉLO QUÉBEC VOYAGES

Découvrez le monde à vélo
Vous roulez, on s'occupe du reste !

Photo : Dany Dufresne et Yvan Morisette

Vélo Québec Voyages
Profitez d'un encadrement attentif, incluant le soutien mécanique et la présence d'un guide.

Événement
Faites partie d'un grand rassemblement cycliste tel que la Petite Aventure et le Grand Tour.

En liberté
Choisissez votre date de départ parmi plusieurs destinations. Formule pour cyclistes autonomes !

Groupe sur mesure
Roulez avec les vôtres! Décidez de la date, de la destination et de la durée.

RÉSERVEZ MAINTENANT!
veloquebecvoyages.com
514 521-8356 • 1 800 567-8356, poste 506

Vélo Québec VOYAGES
Titulaire d'un permis du Québec

UN SOUS-MARIN À HÔPITAL

À Lévis, des chercheurs se penchent sur les vertus nombreuses – et aux prétentions parfois exagérées – de l'utilisation médicale de l'oxygène à une pression supérieure à la pression atmosphérique. PAR MAXIME BILODEAU

Avec ses hublots étanches, ses lourdes portes coulissantes et ses innombrables cadrans, la chambre hyperbare de l'Hôtel-Dieu de Lévis a des allures de sous-marin. Même ses parois pressurisées, visibles et audibles (pschitt !) lorsqu'on s'en approche, rappellent l'univers des submersibles. À l'intérieur d'un des trois sas indépendants, une poignée de personnes en chemise d'hôpital sont assises dans des fauteuils avec ce qui a tout l'air d'un scaphandre vissé sur la tête. Un tube approvisionne leur masque facial en air ou plutôt en oxygène pur. Les patients respirent une concentration élevée de ce gaz incolore, inodore et insipide en regardant calmement la télévision. Il faut bien tuer le temps ; un traitement de deux heures, c'est long !

À l'extérieur de la chambre rectangulaire longue de 13 m – c'est la plus grande installation hyperbare civile au Canada, avec sa capacité de 18 usagers –, le professeur du Département de kinésiologie de l'Université Laval Neal William Pollock dépeint cette scène digne d'*À la poursuite d'Octobre rouge*, Sean Connery en moins. « De 60 à 70 % des utilisateurs de la chambre sont traités pour des lésions provoquées par la radiothérapie, comme les radionécroses. Ils la fréquentent cinq jours par semaine, de deux à trois mois en moyenne », explique le titulaire de la Chaire de recherche en médecine hyperbare et de plongée sous-marine, qui vient d'être mise sur pied.

Si depuis son inauguration, en 2013, le mastodonte de 90 t permet 3 000 traitements par année, il fera désormais aussi office de laboratoire. Le but : former davantage de praticiens à l'art délicat de la médecine hyperbare et en évaluer les applications nouvelles, émergentes ou prometteuses.

DONNEZ-MOI DE L'OXYGÈNE

La chambre peut atteindre une pression équivalant à celle qu'on ressent à 50 m de profondeur sous l'eau ou six fois la pression atmosphérique. Aujourd'hui, pour ces patients, la pression à l'intérieur de l'habitacle est « seulement » de 2,4 fois celle de l'air ambiant. Cette plongée artificielle permet à l'oxygène pur qu'ils inhalent de se diffuser environ 20 fois mieux dans leur sang, donc dans l'ensemble de leur organisme. C'est une conséquence de la loi de Henry, établie par le physicien britannique du même nom au début du 19e siècle : la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression subie par le liquide. L'oxygénothérapie hyperbare stimule ainsi la formation de vaisseaux sanguins et la croissance de nouveaux tissus, ce qui est tout particulièrement indiqué pour soigner des plaies complexes et venir à bout d'infections persistantes.

D'ailleurs, sur les 14 états pathologiques pour lesquels l'Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) a reconnu l'efficacité de ce traitement, plusieurs ont trait à la cicatrisation. Les blessures telles que l'ulcère plantaire diabétique et les greffes cutanées mal cicatrisées figurent sur la liste de cette organisation qui fait autorité – Santé Canada aligne d'ailleurs ses recommandations sur les siennes. Parmi les autres affections, on trouve l'empoisonnement au monoxyde

La chambre hyperbare de l'Hôtel-Dieu de Lévis peut accueillir 18 patients. C'est la plus grande installation civile de ce type au Canada.

IMAGE : NEAL W. POLLOCK

de carbone à la suite de l'inhalation de gaz d'échappement par exemple. « Nous avons à peine quelques cas par année, surtout lors de la saison de la chasse et en hiver, lorsque des appareils fonctionnant à l'essence sont utilisés à l'intérieur d'un bâtiment », souligne le Dr Dominique Buteau, médecin-chef du service de médecine hyperbare du Centre intégré de santé et de services sociaux de Chaudière-Appalaches.

Les maux de décompression font évidemment partie des affections traitées. Ces incidents surviennent lorsque le corps est confronté à une baisse rapide de la pression environnante, comme lorsqu'un plongeur revient à la surface sans passer par des paliers de décompression. Il souffre alors de divers malaises, telles des douleurs articulaires causées par la formation de minuscules bulles d'azote dans les tissus. Dans le jargon, on parle des *bends* pour décrire ce phénomène semblable à celui qui se produit quand on ouvre une canette de boisson gazeuse. Dans ces moments-là, les victimes sont placées dans un environnement hyperbare pour y suivre un protocole strict visant à dissoudre les bulles d'azote, qui s'écrasent sous la pression. Mieux vaut alors s'armer de patience ; ces traitements peuvent durer plus de six heures !

Par ailleurs, « l'intérêt des chercheurs pour la médecine hyperbare naît souvent de leur propre pratique de la plongée sous-marine, note Neal William Pollock, lui-même amateur de cette activité. C'est comme ça qu'ils font connaissance avec la chambre hyperbare, parfois bien involontairement. »

APPLICATIONS POSSIBLES

Le jour de notre visite, une plus petite chambre à deux places, dont la coque en acrylique peut accueillir une longue civière, est réquisitionnée pour une expérience pilotée par Neal William Pollock. Avant d'y pénétrer, une volontaire répond aux questions de Jocelyn Boisvert, responsable de la sécurité hyperbare et coordonnateur du Centre de médecine de plongée du Québec. « Prenez-vous des médicaments ? Avez-vous les oreilles bouchées ? Des troubles cardiaques connus ? » lance en rafale le technicien. La participante, en bonne santé, ne porte aucun maquillage ni vêtement en tissu synthétique. De longs bas blancs, faits exclusivement de coton, lui sont fournis. Ces mesures de sécurité sont prises pour minimiser les risques d'incendie à l'intérieur du caisson. L'oxygène est, après tout, un gaz très inflammable.

Tout au long de sa descente à une pression de presque trois atmosphères absolues, soit 18,3 m de profondeur, le sujet se pince le nez, ferme la bouche et expire de l'air, qui se dirige vers les trompes d'Eustache. C'est la manœuvre de Valsalva, qui permet d'équilibrer la pression dans l'oreille moyenne et donc d'éviter un barotraumatisme. « En théorie, la pression à l'intérieur de la chambre peut endommager les tympans. Mais en pratique, les patients ressentent à peine un léger inconfort ; plusieurs compensent l'augmentation de la pression en avalant leur salive, tout simplement », indique Neal William Pollock. De fait, il y a peu de contre-indications à l'oxygénothérapie hyperbare. Même les insuffisants cardiaques, dont le cœur peine pourtant à pomper suffisamment de sang pour bien oxygéner et nourrir l'organisme, n'ont pas à s'inquiéter.

Le moment fort de l'étude survient dès la sortie de la chambre. La participante est alors conduite en fauteuil roulant – et à grande vitesse ! – jusqu'à la nouvelle unité d'imagerie par résonance magnétique du tout aussi flambant neuf pavillon du Centre régional intégré de cancérologie. Moins de cinq minutes plus tard, la voici allongée dans ledit appareil, où son cou, sa tête et son cerveau sont virtuellement découpés en fines tranches. Le but : apprécier la diminution progressive de la suroxygénation dans ces tissus par rapport à ce qu'ils étaient avant le passage en chambre hyperbare. « Certaines tumeurs cancéreuses répondent mieux à la radiothérapie lorsqu'elles sont bien oxygénées. L'oxygénothérapie hyperbare pourrait améliorer l'efficacité de ces traitements », avance le Dr Buteau.

S'ils s'avèrent positifs, les résultats, pas encore publiés, devront être reproduits chez des sujets atteints de cancer. Dans tous les cas, ils viendront bonifier l'édifice des connaissances relatives à la médecine hyperbare. Quelques études ont par exemple été menées chez des personnes souffrant de COVID-19 depuis le début de la pandémie. Des séjours répétés en chambre hyperbare seraient utiles pour diminuer les symptômes de l'infection, voire pour soulager des patients en détresse respiratoire. Mais « ces résultats préliminaires doivent être répétés avant qu'on puisse conclure à l'efficacité du traitement », nuance Neal William Pollock. Aucun projet dans ce sens n'a actuellement cours à l'Hôtel-Dieu de Lévis.

Les recherches sur l'oxygénothérapie hyperbare bénéficient aussi… aux astronautes ! Lors de leurs sorties à l'extérieur de la Station spatiale internationale, dans laquelle règne une pression normale, les hommes et les femmes de l'espace doivent revêtir une combinaison dans laquelle la pression est équivalente à celle au sommet du mont Everest. Sans contre-mesures appropriées, ce contraste peut induire un mal de décompression. Pour l'éviter, les astronautes se soumettent à des protocoles pouvant durer jusqu'à une douzaine d'heures avant l'activité extravéhiculaire. « J'ai contribué à les mettre au point », précise Neal William Pollock, qui a passé une partie de sa carrière à l'Université Duke, en Caroline du Nord, où l'on trouve des installations hyperbares. La moitié de son financement provenait alors de la NASA.

CHARLATANISME ?

Augmenter la caution scientifique pour l'utilisation clinique de l'oxygénothérapie hyperbare constitue l'autre cheval de bataille de la chaire de l'Université Laval. Sur ce terrain, il y a fort à faire : on recense plusieurs affections pour lesquelles aucune preuve scientifique n'existe quant à l'utilité de ce traitement, et ce, malgré des prétentions contraires. Certaines cliniques privées proposent ainsi des séances pour traiter la sclérose en plaques, la maladie de Lyme, l'autisme et même la fibromyalgie, des troubles qui ne font pas partie de ceux répertoriés par l'UHMS. « Méfiez-vous de quiconque annonce ou offre le traitement hyperbare pour soigner [c]es maladies, recommande d'ailleurs Santé Canada. Rien ne démontre l'utilité de ce traitement en l'occurrence. »

Au Québec, la saga de la paralysie cérébrale a fait couler beaucoup d'encre. Le feuilleton débute au début des années 2000, quand un groupe de chercheurs montréalais publie une étude dans le prestigieux journal *The Lancet*. Pendant deux mois, l'espace de 40 traitements, 111 enfants atteints de

IMAGE : NEAL W. POLLOCK

paralysie cérébrale sont soumis soit à un traitement de 1,75 atmosphère avec 100 % d'oxygène, soit à un air normal (21 % d'oxygène) à 1,3 atmosphère. Résultat : les deux cohortes voient leurs symptômes diminuer, ce qui ne permet pas de trancher le débat. L'étude est néanmoins brandie comme une preuve de l'effet thérapeutique de l'oxygénothérapie hyperbare chez ces enfants. Les autorités médicales, dont l'UHMS, rejettent ses conclusions, sur la base de ses failles méthodologiques qui auraient entraîné un effet de participation, c'est-à-dire une amélioration de l'état de santé due au simple fait de prendre part à une étude.

En 2014, rebelote : certains des chercheurs engagés dans cette première étude reviennent à la charge avec de nouvelles données qui en corroborent les résultats. Ironiquement, elles sont publiées dans les pages de la revue savante *Undersea and Hyperbaric Medicine,* propriété de l'UHMS, qui ne reconnaît pourtant toujours pas l'intérêt thérapeutique du traitement pour ces enfants… Il n'en fallait pas plus pour relancer la discussion et forcer l'Institut national d'excellence en santé et en services sociaux (INESSS) du Québec à s'y pencher. Son avis, publié en février 2020, clôt la controverse : « À la lumière des données scientifiques, contextuelles et exponentielles colligées, et en l'absence de démonstration d'une valeur thérapeutique, l'INESSS [pense] que l'ajout [de ce traitement] à la gamme de services publics pour traiter les enfants avec une paralysie cérébrale ne constitue pas une option juste et raisonnable. »

Cette position est encore celle qui prévaut. Les deux hôpitaux du Québec où l'on trouve des chambres hyperbares – l'Hôpital du Sacré-Cœur-de-Montréal dispose aussi de telles installations – ne peuvent donc traiter que les patients qui répondent aux indications reconnues. Ce qui n'empêche manifestement pas des cliniques privées d'offrir le traitement à gros prix. Ou à des particuliers de se procurer des caissons portatifs à parois souples non homologués et contre lesquels Santé Canada met en garde. « Cette médiatisation malheureuse de la médecine hyperbare pour soigner à peu près tout et n'importe quoi nuit à la crédibilité de la discipline », regrette Neal William Pollock. La détresse de ces victimes, elle, est pourtant bien réelle.» Les tours de sous-marins, aussi intrigants soient-ils, ne sont pas magiques.

Un patient dans la chambre hyperbare à deux places, le premier appareil que l'hôpital a acquis en 1999

DE RARES ACCIDENTS DE PLONGÉE

Le Québec n'est pas un haut lieu de la plongée sous-marine – on y tutoie le fond de l'eau de manière récréative à peine une poignée de mois par année. Cela se reflète dans le faible nombre d'accidents de décompression qu'on y recense. Avec des collègues, Neal William Pollock et Dominique Buteau ont compilé tous les appels et courriels reçus entre 2004 et 2018 par le Centre de médecine de plongée du Québec, situé à l'Hôtel-Dieu de Lévis. Sur les 3 232 contacts répertoriés en près de 15 ans, moins de 10 % concernaient des cas de décompression urgents où la santé, voire la vie était menacée, apprend-on dans une étude parue en 2021 dans *Diving and Hyperbaric Medicine*.

À Lévis, les accidents de décompression ne sont pas traités dans la chambre multiplace, mais bien dans une version miniature à deux places qui ressemble à s'y méprendre à un caisson. Historiquement, on nommait l'accident de décompression « maladie des caissons » en référence aux grands travaux de génie exécutés dans les profondeurs au 19e siècle. Les travailleurs qui ressortaient de ces caissons pressurisés, pour empêcher l'eau d'envahir les chantiers, étaient aux prises avec les mêmes symptômes.

L'appareil, opérationnel depuis 1999, est fort semblable à ceux qu'on trouve dans une dizaine de centres hospitaliers du pays, d'un océan à l'autre. C'est dans celui-ci que Sylvain Lelièvre a été placé au début des années 2000 à la suite d'une embolie gazeuse cérébrale grave survenue en plein vol entre les Îles-de-la-Madeleine et Montréal. Le traitement n'a malheureusement pas eu les effets escomptés ; l'auteur, compositeur et interprète de *Marie-Hélène* n'est jamais ressorti du coma dans lequel il était plongé. Il est décédé peu après.

LES DINOSAURES POLAIRES

De plus en plus de fossiles de dinosaures sont trouvés près des pôles Nord et Sud. De quoi soulever de sérieuses questions au sujet de la biologie de ces animaux et de leur disparition. **PAR JEAN-PIERRE SYLVESTRE**

Dans l'imaginaire collectif, les dinosaures sont continuellement associés à de gros reptiles écailleux vivant dans des climats chauds. Il est vrai que, durant leur règne, qui a duré près de 160 millions d'années, ces animaux vivaient sur une planète beaucoup plus chaude qu'elle ne l'est de nos jours. Reste que non seulement ils avaient colonisé toutes les niches écologiques, mais ils vivaient également dans les régions les plus froides de la planète.

Depuis le début des années 1950, les géologues ont mis au jour des ossements fossilisés de dinosaures en Australie et en Arctique (Alaska, Yukon, Nunavut, Groenland, Sibérie, Hokkaido) et, depuis 1986, en Antarctique. Ces fossiles datent tous d'une même et longue période allant du Jurassique inférieur (-200 millions d'années) à la fin du Crétacé (-65 millions d'années), pour un total d'environ 135 millions d'années. Durant ces périodes, l'Australie était très proche de l'Antarctique, près du pôle Sud.

Quant à l'Arctique nord-américain, il se trouvait déjà en zone arctique. Cela signifie que les dinosaures ont bel et bien connu des mois d'obscurité et des températures froides à la toute fin du Crétacé, même si les températures moyennes à ces latitudes étaient bien plus élevées qu'aujourd'hui (une dizaine de degrés en moyenne).

Découverts tardivement, les sites de fossiles polaires sont aujourd'hui fouillés par des paléontologues du monde entier. Cette présence dans un froid relatif est-elle le résultat de migrations annuelles ? C'est ce qu'ont avancé des scientifiques, notamment pour les dinosaures trouvés au Canada.

« La croyance selon laquelle certaines espèces de dinosaures faisaient des migrations entre l'Alberta [au climat subtropical à l'époque] et l'Alaska remonte à plus de 30 ans, à une époque où l'on n'avait pas encore fait d'études anatomiques détaillées et où l'âge des dépôts fossilifères n'était pas bien connu », explique le paléontologue québécois François Therrien, conservateur de paléoécologie au Royal Tyrrell Museum of Palaeontology, à Drumheller, en Alberta.

Au cours des 20 dernières années, nous en avons appris beaucoup plus sur ces animaux. « Nous savons maintenant que, malgré le fait que les dinosaures découverts en Alaska étaient très proches, du point de vue évolutif, des espèces trouvées en Alberta, ils appartenaient à d'autres espèces. De plus, ces animaux n'ont pas vécu à la même époque, les dinosaures de l'Alaska ayant vécu quelques millions d'années plus tard que ceux de l'Alberta. » Vraiment, l'hypothèse de dinosaures migrant entre l'Alberta et l'Alaska ne tient pas la route !

Le coup de grâce a été porté à la théorie à l'été 2021. Donald Brinkman, également du Royal Tyrrell Museum of Palaeontology, en compagnie de plusieurs paléontologues américains, a publié un article dans *Current*

Vue d'artiste du *Nanuqsaurus*, un dinosaure de la famille des tyrannosaures, dont les restes fossiles ont été trouvés en Alaska. Son crâne fait une soixantaine de centimètres de long, contre 1,5 m pour celui de son cousin le *Tyrannosaurus rex*.

IMAGE : NATHAN-E-ROGERS

Biology sur la découverte d'œufs et de sites de nidification de dinosaures polaires dans des falaises au-dessus du fleuve Colville, en Alaska. « Nous n'avons pas seulement démontré la présence de restes périnatals – dans l'œuf ou juste éclos – d'une ou deux espèces, nous avons plutôt documenté au moins sept espèces de dinosaures se reproduisant dans l'Arctique », explique M. Brinkman.

Grâce à ces découvertes, François Therrien ajoute que « nous savons maintenant que ces espèces se reproduisaient à ces hautes latitudes, car les ossements des nouveau-nés sont trop petits pour que ceux-ci aient pu participer à de longues migrations. Il semblerait donc que les espèces de dinosaures qui vivaient dans les régions subarctiques y passaient toute leur vie ».

DES DINOS OURS BLANCS

Les dinosaures de l'Arctique étaient donc bien des espèces endémiques des régions polaires. Rien que sur le versant nord de l'Alaska, les paléontologues américains ont répertorié 12 genres différents de dinosaures. Et on y a découvert plusieurs nouvelles espèces.

Ainsi, en 2012, Anthony Fiorillo et Ronald S. Tykoski, deux paléontologues du Perot Museum of Nature and Science de Dallas, ont décrit une nouvelle espèce de cératopsien, le *Pachyrhinosaurus perotorum*, d'après plusieurs fragments crâniens mis au jour dans des carrières près du même fleuve Colville. En 2014, les mêmes chercheurs du musée de Dallas ont décrit une nouvelle espèce de tyrannosaure arctique : le *Nanuqsaurus hoglundi* ou « lézard ours blanc ». Une belle trouvaille « locale », alors qu'on a longtemps pensé que les restes des tyrannosauridés repérés dans les dépôts crétacés de la côte nord de l'Alaska appartenaient soit au *Gorgosaurus* soit à l'*Albertosaurus*, des dinosaures albertains.

Puis, en 2015, trois autres chercheurs de l'Université de l'Alaska de Fairbanks ont décrit une nouvelle espèce d'hadrosaure (plus connu sous le nom de « dinosaure à bec de canard ») découverte dans un gisement recelant plus de 6000 os appartenant aussi bien à des adultes qu'à des juvéniles. Ils l'ont nommée *Ugrunaaluk kuukpikensis*, c'est-à-dire le « brouteur ancien du fleuve Colville » en langue inupiaq.

Enfin, en 2019, des paléontologues japonais et américains, dont Anthony Fiorillo, ont présenté une nouvelle espèce encore non identifiée d'hadrosauridés du genre *Lambeosaurus* dans le nord de l'Alaska. D'autres genres de dinosaures ont été trouvés dans les gisements alaskains, notamment un droméosauridé, et peut-être un pachycéphalosauridé. Ces dinosaures ne sont connus que par des fragments d'os fossilisés, et leur espèce reste à déterminer.

Autre grande découverte des dernières années : de nombreuses traces de pas laissées sur une plaque de roche localisée par Tony Fiorillo au parc national de Denali dans le nord de l'Alaska. Elles indiquent que certains de ces animaux, notamment des hadrosauridés, vivaient sur place et se déplaçaient en troupeaux d'adultes et de jeunes. Ça fait pas mal de monde !

DU SANG FROID

À quoi ressemblait la vie des dinosaures dans ces régions subarctiques ? Rappelons qu'à cette époque, l'Alaska était situé encore plus loin au nord qu'il ne l'est présentement et que les conditions de luminosité étaient peut-être encore plus extrêmes qu'elles ne le sont aujourd'hui. « C'est donc dire qu'il y aurait eu plusieurs mois d'obscurité, mais également plusieurs mois de clarté », indique François Therrien.

Selon le professeur Fiorillo, la température moyenne durant les mois les plus chauds, en été, variait entre 10 et 12 °C dans cette partie du monde au cours du Crétacé. Et en hiver, la température moyenne était sous le point de congélation. Comment les dinosaures faisaient-ils pour endurer ce froid ? Et là se pose une autre question, débattue depuis longtemps : les dinosaures avaient-ils le sang chaud ou froid ?

« Le fait qu'il y ait eu des dinosaures dans les régions de hautes latitudes, mais pas de reptiles ectothermes [à sang froid] tels que des tortues, des crocodiles et des champsosaures [un genre éteint de reptiles d'eau douce], semble indiquer que les dinosaures avaient un métabolisme plus intense que celui des reptiles, dit François Therrien. Certains dinosaures, tels les petits théropodes, qui étaient couverts de plumes filamenteuses semblables au duvet des oiseaux modernes pouvaient se garder au chaud. »

Plusieurs études, dont une à laquelle M. Therrien a participé en 2020 dans *Science Advances*, ont démontré que les dinosaures possédaient une température corporelle plus élevée que celle de leur environnement, ce qui laisse croire qu'ils étaient capables de générer leur propre chaleur. Cette température aurait tourné autour de 35-40 °C, selon ces travaux qui ont analysé la composition chimique des coquilles d'œufs pour en déduire à quelle température elles se sont constituées. « Cependant, les dinosaures régulaient probablement leur température différemment des animaux endothermes [à sang chaud] modernes, comme les mammifères et les oiseaux modernes », souligne le paléontologue.

D'autre part, grâce à des études récentes faites sur des os fossiles de dinosaures australiens et antarctiques, dont les anneaux de croissance ressemblaient en tout point à ceux des dinosaures d'autres latitudes, nous savons que la plupart des dinosaures polaires n'hibernaient pas.

D'ailleurs, il aurait été difficile pour certaines grosses espèces, comme le *Pachyrhinosaurus* et le *Nanuqsaurus*, de trouver un « petit coin » où se cacher et se protéger du froid pendant tout l'hiver. On a trouvé des traces de peau de ces animaux, et aucune n'a présenté une quelconque empreinte de poils ou de duvet. On peut imaginer que certains de ces dinosaures polaires étaient enveloppés d'une épaisse couche de graisse parfaitement isolante. Il faudra attendre les prochaines découvertes pour y voir plus clair ! ●

IMAGES : KEVIN MAY ; JAMES HAVENS

Pat Druckenmiller et Greg Erickson (Université de l'Alaska de Fairbanks et Université d'État de Floride) extraient un os de dinosaure d'une roche le long du fleuve Colville, en Alaska.

Vue d'artiste de deux tyrannosauridés adultes et de leurs petits vivant dans les régions arctiques au Crétacé.

Les dinosaures de l'Arctique étaient bien des espèces endémiques des régions polaires. Rien que sur le versant nord de l'Alaska, les paléontologues américains ont répertorié 12 genres différents.

LA RECHERCHE TOP SECRÈTE

Le plus grand centre de recherche canadien dans le domaine de la défense est basé au Québec. Visitez-le avec nous.

PAR MÉLISSA GUILLEMETTE

C'est bien la première fois de ma carrière qu'on m'interdit d'apporter mon enregistreuse, alors que je dois réaliser une enfilade d'entrevues.

En fait, personne n'entre au Centre de recherches de Valcartier avec des appareils électroniques personnels, pas même un cellulaire. La règle vaut aussi pour le scientifique en chef de l'établissement, Bruno Gilbert, que je rejoins de l'autre côté du poste de contrôle. Les journalistes sont par ailleurs très rares par ici ; ce serait la première fois depuis une vingtaine d'années qu'un individu de mon espèce franchit le grillage… « On va vous présenter ce qui est de nature publique, prévient M. Gilbert. On ne voudrait pas diffuser des détails sur les vulnérabilités des équipements des soldats, par exemple… » Une occasion d'avoir une idée, bien que très partielle, de ce qui se passe derrière ses portes closes.

Il m'a préparé un programme militaire : tout est réglé au quart de tour. « Vous allez voir : au Centre de recherches de Valcartier, une journée, c'est pas assez ! » lance-t-il, reprenant le slogan du parc aquatique tout proche.

Tout comme ce parc, le terrain du Centre est immense : 16 km^2 répartis sur trois secteurs. Des bâtiments anciens sont disposés en grappes, près de la rue, et juste à côté, un nouvel édifice, imposant, est en construction ; il abritera 80 laboratoires. Derrière, de plus petits bâtiments qui servent à des expériences sont disséminés ici et là dans une plaine verte.

Pour relater l'histoire du lieu, Bruno Gilbert (qui a pris sa retraite depuis ma visite) m'entraîne dans une salle « à conversation sensible », c'est-à-dire qu'elle offre une atténuation acoustique et une protection contre l'interception électronique. Les activités ici datent de la Première Guerre mondiale. La base des Forces canadiennes Valcartier fut érigée en camp d'entraînement en 1914. Puis, lors de la Seconde Guerre mondiale, l'usine de munitions Arsenal fédéral ouvre de l'autre côté de la rue ; 5 000 personnes y travaillent. Comme il faut tester la production, un laboratoire de balistique est construit. Ce dernier est à l'origine de la création du Canadian Armament Research and Development Establishment en 1945, qui deviendra le Centre de recherches de Valcartier.

C'est le plus important des sept centres de Recherche et développement pour la défense du Canada à travers le pays, qui disposent d'un budget annuel total de plus de 400 millions de dollars et emploient 1 200 personnes. Dans ce grand réseau, il y a des scientifiques de toutes sortes, « comme des psychologues et des économistes, mais à Valcartier, on a plutôt des chercheurs en sciences "dures" », précise leur patron.

Mais attention : « On n'est pas là pour créer de la propriété intellectuelle. On est plutôt des intégrateurs de connaissances », indique mon guide. Leur mission ? Voir venir les nouvelles technologies militaires, les essayer et les améliorer, ainsi que conseiller le ministère de la Défense nationale et le gouvernement canadien dans leurs achats. Bref, on est loin des zones de combat. « Mais on a quand même envoyé des scientifiques en Afghanistan… » Ils ont par exemple aidé au déploiement d'une nouvelle technologie d'avertisseur laser.

Si vous imaginez Bruno Gilbert vêtu de kaki, vous faites erreur. Bien qu'il y

IMAGE : MICHEL VIGNEAULT, PHOTOGRAPHE, VISDOC, RDDC, VALCARTIER

Sur le site du Centre de recherches de Valcartier, un exercice de brûlage de poudres excédentaires d'artillerie a cours sur une table conçue par les équipes scientifiques pour cet usage. L'outil est désormais utilisé par les Forces armées canadiennes.

ait une base militaire juste à côté, « le Centre de recherches n'appartient pas à l'armée canadienne », souligne-t-il. Sur les 480 employés qui travaillent ici, 439 sont des civils, dont il fait partie, contre 41 militaires. Le « camo » est néanmoins bien représenté dans les hautes sphères : le lieutenant-colonel Christian Picard est directeur adjoint du centre.

L'expert du kaki est toutefois un civil nommé Jean Dumas, de la section Guerre électro-optique. Malgré son style tout sauf extravagant – jean, t-shirt, veste en laine polaire et cheveux très courts –, on le surnomme le « Versace de Valcartier ». « Ça fait 25 ans que je fais de la guenille, plus précisément du camouflage », déclare-t-il en guise de présentation. En effet, les motifs des habits des soldats canadiens ne sont pas choisis au hasard ; M. Dumas étudie la question en profondeur.

Il dépose différents morceaux de tissu sur une table. Jusqu'à la fin des années 1990, un uniforme vert uni habillait les militaires. Il a été délaissé au profil du dessin de camouflage canadien (DCamC) « Forêt tempérée », mis au point par une firme danoise pour déjouer les systèmes de vision ennemis. Le motif est fait de carrés vert clair, vert foncé, marron et noirs, un peu comme des pixels. « Il a failli ne pas être adopté. Les femmes des généraux ne l'aimaient pas. Elles demandaient : pourquoi c'est foncé ? Pourquoi c'est carré ? Eh bien, parce que ça réduit la visibilité de 25 % ! »

Le ministère de la Défense a ensuite procédé à l'achat d'un logiciel pour produire les motifs. Une version « Régions arides » a été réalisée pour le déploiement en Afghanistan, avec des carrés plus gros, car les cailloux des zones désertiques sont plus grands que les détails de la forêt, ainsi qu'une version blanche pour le Nord.

Le but n'est pas de plaire, mais de réduire le risque de blessure, de sauver des vies. Tout tissu est d'ailleurs soumis à des tests rigoureux, notamment pour voir s'il permet aux militaires d'échapper à la détection dans le proche infrarouge (juste au-delà du rouge visible par l'œil humain), utilisée la nuit. « On emprunte des soldats quelques jours et on joue à la cachette », indique Jean Dumas. Le camouflage thermique, qui permettrait d'éviter d'être repéré par la chaleur, est un sujet de recherche actif chez Recherche et développement pour la défense du Canada.

Quoi qu'il en soit, la « guenille » fait toujours jaser. C'est bientôt le motif DCamC « Multi-terrain », une sorte de mélange entre les versions forêt tempérée et régions arides, qui soulèvera les passions, puisqu'il ornera la majorité des uniformes. Il a fait ses preuves. « On l'a testé en Australie et dans le sud-ouest des États-Unis, dans la jungle, la savane et la prairie. À ce jour, les femmes des généraux sont contentes ! » dit à la blague le Versace de Valcartier.

LE SPECTRE DES ÉGARÉS

On entre maintenant dans le laboratoire de Caroline Turcotte, de la section Surveillance et reconnaissance électro-optique. Le photographe militaire qui m'accompagne (je ne pouvais apporter mon propre appareil photo, évidemment) fait quelques clichés. « On va réviser les photos après pour s'assurer qu'il n'y a pas de matériel scientifique classifié », précise le duo de représentantes des communications de la Défense nationale qui m'accompagne.

Dans la pièce inondée de soleil, un étrange bloc rouge surmonté de caméras attire l'œil. Il s'agit d'un système d'imagerie hyperspectrale que l'équipe de Vincent Roy et Caroline Turcotte a conçu pour qu'il puisse être monté à bord d'un avion. Muni d'un stabilisateur, il balaie le paysage pour capter le rayonnement réfléchi par chaque petit bout de terrain, afin d'en déterminer la nature. « Le pays est très grand, rappelle Caroline Turcotte. Des gens partent en motoneige et se perdent. On s'est demandé si la technologie hyperspectrale, qui capte la lumière visible et le proche infrarouge, pouvait donner un coup de main pour les sauvetages », auxquels les Forces armées canadiennes participent.

Justement, la scientifique nous montre une image de tests réalisés à proximité d'Iqaluit en été. « On a mis sur le terrain plusieurs objets, dont un parachute vert, un gilet de sauvetage et quatre manteaux de fourrure, puis on a survolé la zone à 1 500 mètres d'altitude. » Les images ont ensuite été analysées à l'aide d'une unité de calcul rapide et d'algorithmes qui ont réussi à identifier le parachute, l'élément le plus distinctif, et le gilet de sécurité.

Pour les manteaux, qui se fondaient parfaitement dans le décor, la tâche semblait quasi impossible. Or, sur l'image spectrale que nous montre la scientifique, quatre points alignés apparaissent clairement : les manteaux ! « Ça va au-delà de la couleur. On peut détecter et identifier les matériaux. On peut aussi s'en servir pour la détection de traces dans la neige. Car quand une motoneige passe, les grains de neige réfléchissent différemment la lumière. » Enfin, la peau humaine a une signature spectrale précise.

Cet outil sert-il à repérer l'ennemi également ? « Le système a été évalué pour des applications de recherche et de sauvetage. Nous ne pouvons pas faire de conjectures sur d'autres utilisations potentielles », me précisera-t-on.

Mon marathon d'entrevues se poursuit. À la section Commandement, contrôle et renseignement, la chercheuse spécialisée en intelligence artificielle Hengameh Irandoust m'accueille avec un scénario angoissant : un navire vient de repérer une attaque de missile. Que doit faire le commandant ? « Pendant la phase d'analyse, il y a beaucoup d'informations importantes à traiter, énormément de variables à considérer, souligne la scientifique. Les données sont incomplètes et ambiguës. L'opérateur du navire est en surcharge cognitive. Ça mène à des erreurs. »

Le travail de cette scientifique consiste à mettre au point un système pour aider le commandant… sans pour autant le remplacer. « Au début, la recherche essayait d'automatiser tous les processus de gestion de la bataille. Mais il y a eu un changement de paradigme : l'humain doit rester là pour les décisions critiques. On ne veut pas qu'il soit en surcharge cognitive, mais si on automatise la gestion à 100 %, il ne sera plus alerte ! Il ne faut pas qu'il perde ses compétences. »

Son équipe tente donc d'exploiter les forces respectives des humains et celles des systèmes informatiques et des capteurs. Pour que le partenariat réussisse, il faut que l'humain croie profondément au système. « On réfléchit donc aux caractéristiques d'un système fiable qui s'exprime de façon ordonnée. Il faut que le système soit transparent, intègre, cohérent », affirme la chercheuse.

Enfin, l'interface du système d'aide à la décision doit être soignée pour que l'utilisateur voie rapidement le bilan de la situation. On dit que l'argent est le nerf de la guerre, mais c'est aussi le cas des données !

Dans le laboratoire de Sylvie Buteau, un camion prend toute la place. Je grimpe à bord pour comprendre sa raison d'être : détecter

IMAGES : MICHEL GUITARD, PHOTOGRAPHE, VISDOC, RDDC, VALCARTIER

Jean Dumas connaît le motif DCamC dans ses moindres détails.

DES CHERCHEURS QUI N'ONT PAS À PUBLIER

En recherche, on dit souvent que les scientifiques doivent « publier ou périr ». En effet, ils subissent une forte pression pour diffuser leurs travaux dans des revues prestigieuses, à défaut de quoi leur financement et leur statut professionnel seront en jeu.

Ce n'est pas le cas pour les chercheurs du Centre de recherches de Valcartier. La publication n'est pas pour autant interdite. Quand une étude n'est pas jugée « sensible », elle peut être diffusée dans les revues savantes ou communiquée dans les congrès. « On va dans les conférences de l'Optical Society, par exemple, cite le scientifique en chef de l'établissement, Bruno Gilbert. Mais si on vient de faire une découverte, on ne va peut-être pas en parler... »

La rigueur scientifique demeure de mise. Les travaux trop secrets pour être publiés sont quand même soumis à un processus interne de révision par les pairs afin qu'on s'assure de la validité des résultats.

Caroline Turcotte montre des photos de zones nordiques où un système d'imagerie hyperspectrale a été testé.

un agent biologique à distance, qu'il s'agisse de virus, de bactéries, de champignons ou de toxines. « On a tous été confinés en 2020 en raison d'une menace de nature biologique [le virus de la COVID-19], mais on pourrait aussi être confrontés à ce type de menace à la suite d'une dissémination intentionnelle ou accidentelle. »

Pour déceler ces aérosols, le camion réunit des technologies dites « de détection en retrait ». « On ne veut aucun contact entre le détecteur et la menace, explique la chercheuse. Pas besoin, donc, de s'habiller avec la combinaison de protection CBRN [chimique, biologique, radiologique et nucléaire] pour avoir l'information recherchée », et cela accélère le temps de réponse.

Mais comment repérer de loin ce qui est microscopique ? L'équipe détermine d'abord une zone de surveillance. Un système lidar infrarouge balaie cette zone à la recherche d'un nuage d'aérosols. S'il en trouve un, le système envoie des impulsions laser ultraviolettes (UV) là où le nuage a la concentration la plus élevée. « On exploite une caractéristique du matériel biologique : quand une substance biologique est excitée par des UV, de la fluorescence est émise. » Le système lidar collecte cette fluorescence, ce qui permet de faire la classification du nuage détecté.

L'équipe utilise des éléments inoffensifs afin de mettre au défi ses systèmes, y compris des virus et des bactéries non dangereuses et du blanc d'œuf, qui joue parfaitement le rôle d'une vilaine toxine. « On va dans le champ tester tout ça. On met au défi les technologies et on améliore le tout, que ce soit du côté logiciel ou matériel. » En espérant qu'ils ne trouveront jamais un vrai nuage pathogène…

JAMBE EN GÉLATINE

Bruno Gilbert m'entraîne de l'autre côté de la rue, sur la base militaire, pour atteindre un immense garage aux stores baissés. On doit y retrouver l'équipe de Protection et effets d'armes. « Ces gens-là ont fait exploser tous les véhicules des Forces armées canadiennes », assure-t-il.

Des mannequins attendent d'être exposés aux différents risques qui planent sur les militaires en zone de guerre. Aujourd'hui, pas d'explosion au programme. L'équipe s'est plutôt payé ma tête en me faisant enfiler une combinaison militaire, l'objectif officiel étant de me faire ressentir le poids écrasant de l'équipement du soldat type sur le terrain, qui représente en soi un risque de blessure.

Les chercheurs développent eux-mêmes leurs protocoles de test selon les nouvelles réalités du terrain. En Afghanistan, les engins explosifs improvisés parsemés sur les routes ont modifié le risque associé à la circulation des véhicules blindés. Pour simuler les effets de l'explosion d'un tel engin sous un véhicule, ils ont installé dans leur laboratoire une grande « tour de chute ». Ce type d'équipement sert normalement à évaluer l'effet d'une chute sur un mannequin. Quel lien avec une charge explosive enfouie ? « La chute vers le bas permet de générer des forces vers le haut lors de la décélération du mannequin, et elles sont représentatives de certains types de forces observées lors d'une explosion sous un véhicule. C'est un peu contre-intuitif, je l'avoue, mais les deux génèrent des accélérations verticales vers le haut », indique un ingénieur de l'équipe, Robert Durocher.

Pour que ces simulations soient valides, il faut des mannequins encore plus précis que les modèles commerciaux de base. Sur une table, un cerveau en gelée rose donne le ton. Une colonne vertébrale conçue avec des matériaux « biofidèles » et munie de capteurs est également mise au point, et on me parle d'une jambe en gélatine. Le groupe n'a qu'à contacter la section Prototypage du Centre pour que les pièces deviennent réalité.

L'équipe a aussi accès à un corridor balistique de 220 mètres de long pour étudier le comportement des balles en vol et à des sites extérieurs pour reproduire une explosion en toute sécurité. Elle teste actuellement différents modèles de gilets pare-balles qui seraient plus confortables pour les femmes. « Est-ce le même niveau de protection ? Y a-t-il un risque de ricochet ? » demande le responsable du groupe de recherche, Simon Ouellet. Les réponses qu'ils trouveront influeront sur le choix de l'équipement.

Son équipe analyse également de véritables cas. « Quand un décès survient dans le théâtre des opérations, on rapporte l'équipement et on voit ce qui n'a pas marché », dit Simon Ouellet. Un rappel de la dure réalité de la guerre, loin des laboratoires. ●

QUEL BUDGET ?

Recherche et développement pour la défense du Canada dispose d'un budget d'environ 400 millions par année (dont 65 millions pour le Centre de recherches de Valcartier). À titre comparatif, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada a reçu 1,3 milliard en 2020-2021 et le Conseil de recherche en sciences humaines, 554 millions.

Nos voisins du Sud sont les plus dépensiers en matière de recherche et développement liés à la défense, et de loin. En 2020, ils y ont investi près de 0,4 % de leur PIB. Plus de la moitié du budget total alloué par le gouvernement américain à la recherche vise d'ailleurs la défense.

Parmi les membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques suivent la Corée du Sud (un peu plus de 0,2 % de son PIB) et la France (environ 0,06 %). Le Canada est loin derrière (environ 0,01 %).

À ceux qui estiment que les dépenses canadiennes demeurent trop importantes, l'historien des sciences Yves Gingras rappelle que l'État a le mandat d'assurer la sécurité de ses citoyens. Pour y arriver, il effectue deux types de recherche à l'interne : celle qui vise à établir des normes (par exemple au sujet des polluants chez Environnement et Changement climatique Canada) et celle qui concerne le monde militaire. « Tous les pays font ça ; c'est non seulement normal, mais inévitable », dit le professeur à l'Université du Québec à Montréal.

Quant au fait que le ministère de la Défense finance des chercheurs dans les universités, son opinion est claire. « On défend beaucoup la liberté universitaire ces temps-ci. Elle inclut la liberté d'accepter ou pas un contrat du genre ! »

IMAGES : JOCELYN TESSIER, RDDC/MDN; MICHEL GUITARD, PHOTOGRAPHE, VISDOC, RDDC, VALCARTIER

Ce camion est équipé de technologies de détection de menaces biologiques à distance.

Des chercheurs du Centre de recherches de Valcartier utilisent et fabriquent des modèles biofidèles de parties du corps humain.

Plus de 400 subventions et contrats de recherche

Autant par la qualité de son corps professoral que par les efforts soutenus de sa communauté étudiante, l'UQAC se distingue au Québec, au Canada et mondialement grâce à ses projets de recherche.

uqac.ca/recherche-et-creation

UQAC
Université du Québec à Chicoutimi

LE CÔTÉ OBSCUR DE LA FORCE

Découverte en 1998, l'énergie noire déconcerte les chercheurs. Ce fluide inconnu, qui pousse l'Univers à s'étendre toujours plus vite, est désormais traqué par un arsenal de nouveaux instruments. Le début de la fin de l'énigme ? PAR MARINE CORNIOU

À écouter parler les cosmologistes, on se demande parfois s'ils ne font pas de la magie noire plutôt que de la science. Non seulement ils lisent dans le passé de l'Univers en regardant les étoiles, mais ils parsèment en plus leurs discussions de mots aussi poétiques que mystérieux, comme *céphéides* et *géantes rouges*, *chandelles standards* et *rayonnement diffus*.

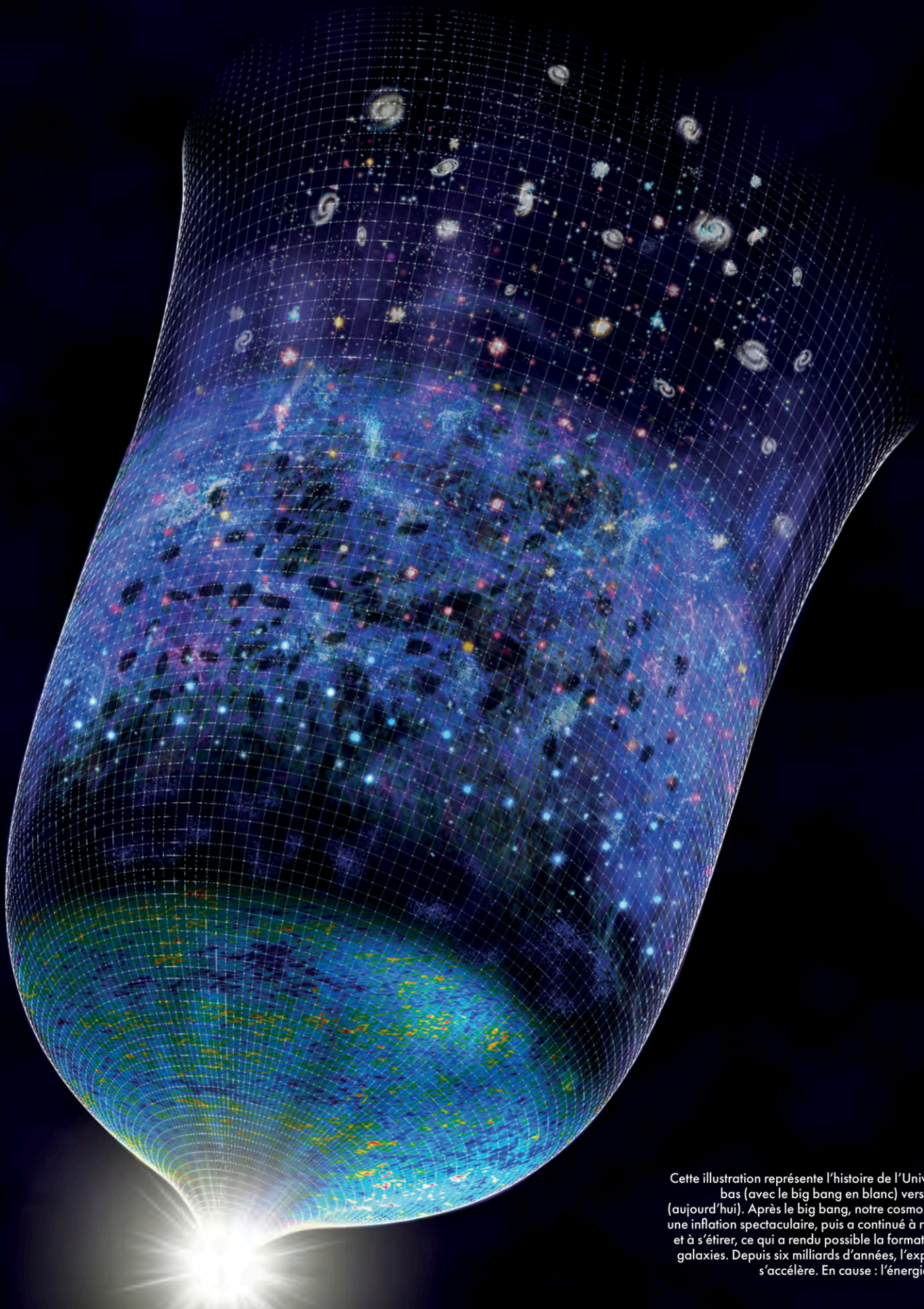
Bien sûr, leurs hypothèses sur l'histoire du cosmos reposent sur des observations validées, des lois physiques et de solides équations. Du big bang à aujourd'hui, leur théorie tient tout à fait la route – du moins, elle explique très bien ce que montrent les télescopes. À un détail près. Un détail énorme, qui prend de plus en plus de place, autant au sein de l'Univers lui-même que dans les congrès de cosmologie : l'énergie noire.

Le terme semble sorti d'un manuel de sorcellerie, mais il est bien choisi. Car, à première vue, cette force a tout d'un élément surnaturel. Impossible de la décrire ; elle ne ressemble à rien de ce qu'on connaît. Et pourtant, elle constitue à elle seule plus des deux tiers du contenu énergétique du cosmos. « La seule chose qu'on sait d'elle, c'est qu'on ne sait rien », résume humblement Robert Brandenberger, cosmologiste et professeur de physique théorique à l'Université McGill. Si on est certains de sa présence, c'est parce qu'on en mesure les effets : l'énergie noire pousse l'Univers à s'agrandir de façon accélérée, et elle gagne sans cesse en puissance.

Ce phénomène énigmatique force les scientifiques à revoir toutes leurs certitudes. Pour investiguer, ils se sont dotés de télescopes puissants, qui opéreront depuis la Terre et dans l'espace. « On devrait avoir un portrait plus clair d'ici quelques années. C'est important d'avoir des programmes complémentaires pour voir si on fait les mêmes observations, ou si on décèle des incohérences. Cela va nous aider à savoir vers quelle théorie nous orienter », souligne Nathalie Palanque-Delabrouille, directrice du Département de physique du Lawrence Berkeley National Laboratory en Californie et porte-parole pour l'instrument DESI (pour *Dark Energy Spectroscopic Instrument*), en fonction sur un télescope d'Arizona depuis 2021.

Certes, l'énergie noire n'est pas le seul mystère à tenir les physiciens en haleine. À vrai dire, on ne sait expliquer que 5 % du contenu actuel de l'Univers, à savoir uniquement la matière visible, qui constitue les galaxies, les planètes, les humains et les extraterrestres potentiels. Les 95 % restants sont constitués d'énergie noire et de matière noire.

Cette dernière nous échappe elle aussi, mais on peut se la figurer plus facilement. Formée de particules inconnues, elle apporte de la masse aux galaxies et leur permet de ne pas se disloquer. De nombreux détecteurs



Cette illustration représente l'histoire de l'Univers, du bas (avec le big bang en blanc) vers le haut (aujourd'hui). Après le big bang, notre cosmos a subi une inflation spectaculaire, puis a continué à refroidir et à s'étirer, ce qui a rendu possible la formation des galaxies. Depuis six milliards d'années, l'expansion s'accélère. En cause : l'énergie noire.

IMAGE : NICOLLE R. FULLER, NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

sur Terre tentent d'ailleurs « d'attraper » ces grains invisibles…

L'énergie noire, elle, requiert un tout autre effort d'imagination. Est-ce un fluide, de la matière, une particule ? Sorte de « brouillard » omniprésent et répulsif, elle contrecarre la gravité ; sous son emprise, une pomme lancée en l'air se mettrait à accélérer vers le ciel plutôt que de retomber. « On est dans une situation paradoxale. On arrive à quantifier les composantes de l'Univers avec une précision de l'ordre du pour cent : 70 % d'énergie noire, 25 % de matière noire, 5 % de matière visible. Mais on ne sait rien des deux composantes majeures. C'est assez frustrant ! On aimerait vraiment comprendre leur nature », confie Nathalie Palanque-Delabrouille.

Comment s'y prendre ? Avant de plonger dans les détails techniques, des rappels sur l'histoire de l'Univers s'imposent. Vieux de 13,8 milliards d'années, l'Univers a d'abord connu une phase infiniment dense et chaude, puis son expansion a débuté de façon explosive. En se dilatant, il s'est refroidi, ce qui a permis aux premiers atomes d'émerger, puis aux galaxies de se former. Le cosmos s'étend encore aujourd'hui, comme un ballon qui gonfle tranquillement.

C'est ce que l'astronome américain Edwin Hubble a confirmé en 1929, en se basant sur d'autres travaux. En observant de lointaines galaxies, il constate que leur lumière nous parvient plus rouge que prévu. C'est le fameux « décalage spectral » (ou *redshift*), qui est semblable à ce qui se passe sur le plan sonore lorsqu'un camion de pompier passe devant nous. Lorsqu'il s'approche, le son de la sirène paraît plus aigu, et plus grave lorsqu'il s'éloigne. « Le *redshift*, ça revient au même. La lumière qui nous parvient d'un objet qui s'éloigne de nous en raison de l'expansion de l'Univers voit sa longueur d'onde étirée. Elle est décalée vers le côté rouge du spectre lumineux, car l'Univers s'est étiré entre le moment d'émission et l'observation », précise Nathalie Palanque-Delabrouille. Bref, les galaxies « s'éloignent » sous l'impulsion initiale du big bang, et elles fuient d'autant plus vite qu'elles sont lointaines.

En toute logique, on s'attendait à ce que cette expansion ralentisse peu à peu, freinée par la force d'attraction exercée par le contenu de l'Univers. Mais en 1998, coup de théâtre : deux équipes qui essaient de mesurer ce ralentissement à l'aide d'étoiles lointaines en explosion (voir l'encadré en page 37) montrent qu'au contraire, l'expansion s'accélère. Comme si une force soufflait de plus en plus fort pour gonfler le ballon ! Les équipes en question se sont partagé le prix Nobel de physique en 2011 – non sans avoir fait voler en éclats le tableau plutôt cohérent dépeint jusqu'alors.

Quel est donc ce souffle venu de nulle part ? Les termes énergie noire ou énergie sombre émergent. N'y cherchez pas un sens profond ni une définition de sa nature. « C'est juste un nom ! Toutes les théories pour l'expliquer sont laborieuses », affirme Laurence Perreault-Levasseur, professeure au Département de physique de l'Université de Montréal.

REMONTER LE TEMPS

Il a fallu du temps pour mettre au point les instruments nécessaires à la traque. « On veut mesurer ses propriétés et voir si sa valeur change dans le temps, en regardant loin dans l'histoire de l'Univers », résume-t-elle. Rappelez-vous : regarder « loin », en cosmologie, revient à voir le passé, puisque la lumière qui nous parvient aujourd'hui d'une étoile ou d'une galaxie l'a en fait quittée il y a très longtemps (même la lumière du Soleil met 8 minutes à nous parvenir). En fait, regarder loin permet d'observer des « strates » d'univers d'autant plus anciennes qu'elles sont éloignées.

La quête des cosmologistes commence donc par un coup d'œil dans le rétroviseur. Leur but : cartographier avec précision l'Univers pour retracer l'effet de cette force au fil des âges. C'est notamment le principe du projet DESI, qui récolte un flot de données depuis quelques mois. Pendant cinq ans, cet instrument fera un relevé de plus de 35 millions de galaxies pour dresser la plus grande carte tridimensionnelle du cosmos jamais établie. « DESI nous permettra de regarder jusqu'à 12 milliards d'années en arrière, avec une très grande précision », explique Nathalie Palanque-Delabrouille.

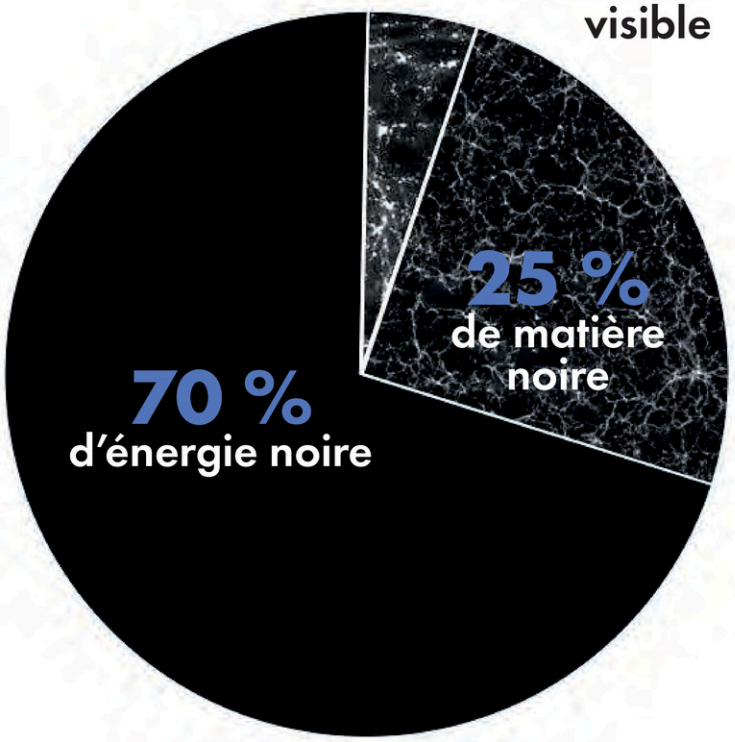
DESI est constitué de plusieurs spectrographes installés sur le télescope américain *Mayall*. En « décortiquant » la lumière des objets célestes en différentes longueurs d'onde, l'instrument mesure le décalage vers le rouge (et donc la distance) de quatre catégories d'objets, des plus proches aux plus lointains. Les grosses galaxies servent de repères jusqu'à quatre milliards d'années en arrière, puis c'est le tour des galaxies rouges, très lumineuses, jusqu'à huit milliards d'années, des jeunes galaxies bleues qui permettront de remonter à 10 milliards d'années, et enfin des quasars (des noyaux très actifs de galaxies) pour sonder l'Univers le plus ancien. Toutes les vingt minutes, DESI vise pas moins de 5000 cibles. Une cadence vertigineuse !

De son côté, le satellite *Euclid,* qui doit décoller en 2023, mènera un peu le même type d'enquête, cartographiant le tiers de la voûte céleste en profondeur (jusqu'à 10 milliards d'années). Ce télescope de l'Agence spatiale européenne doit évaluer le décalage vers le rouge de dizaines de millions d'entre elles. À eux deux, DESI et *Euclid* multiplieront par au moins 10 le nombre d'objets de notre carte de l'Univers.

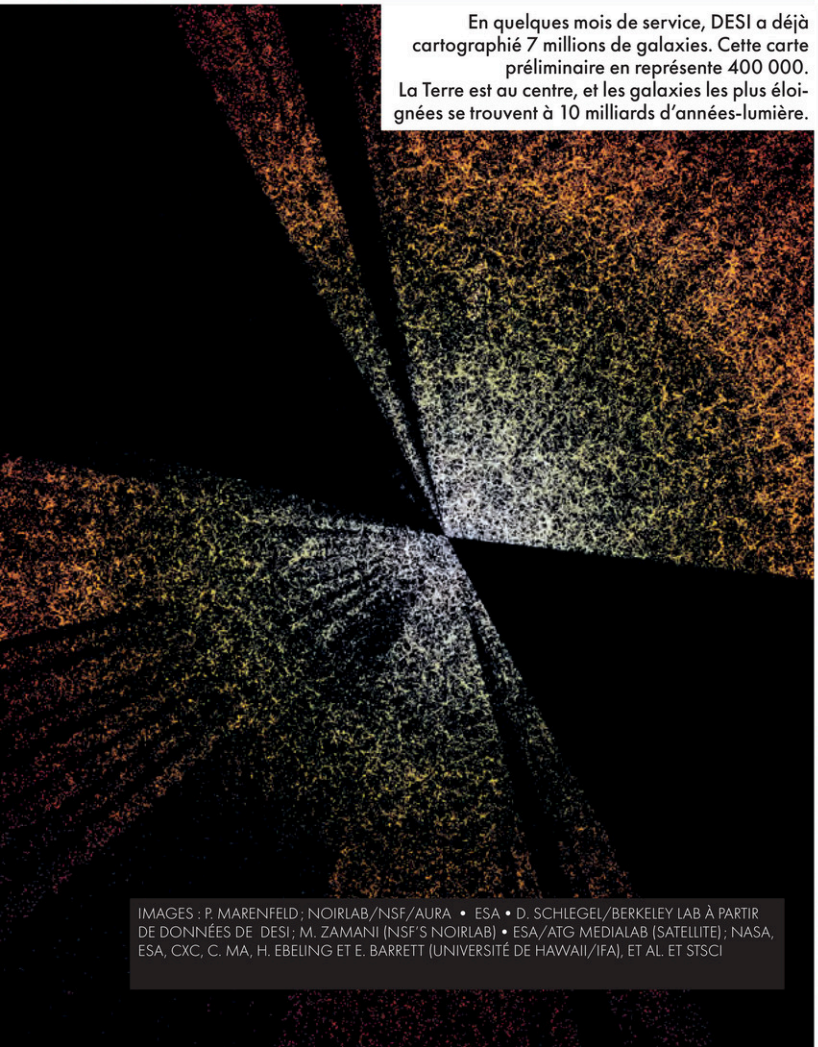
L'observatoire Vera-C.-Rubin, actuellement en construction dans le désert d'Atacama, au Chili, prêtera main-forte à *Euclid* et à DESI. « Ce télescope optique va scanner tout le ciel de l'hémisphère Sud, toutes les trois nuits, pendant dix ans », indique Laurence Perreault-Levasseur. « Ce n'est pas un spectrographe, donc il n'offrira pas la troisième dimension, la profondeur.

Sorte de « brouillard » omniprésent et répulsif, l'énergie noire contrecarre la gravité. Elle pousse l'Univers à s'agrandir de façon accélérée.

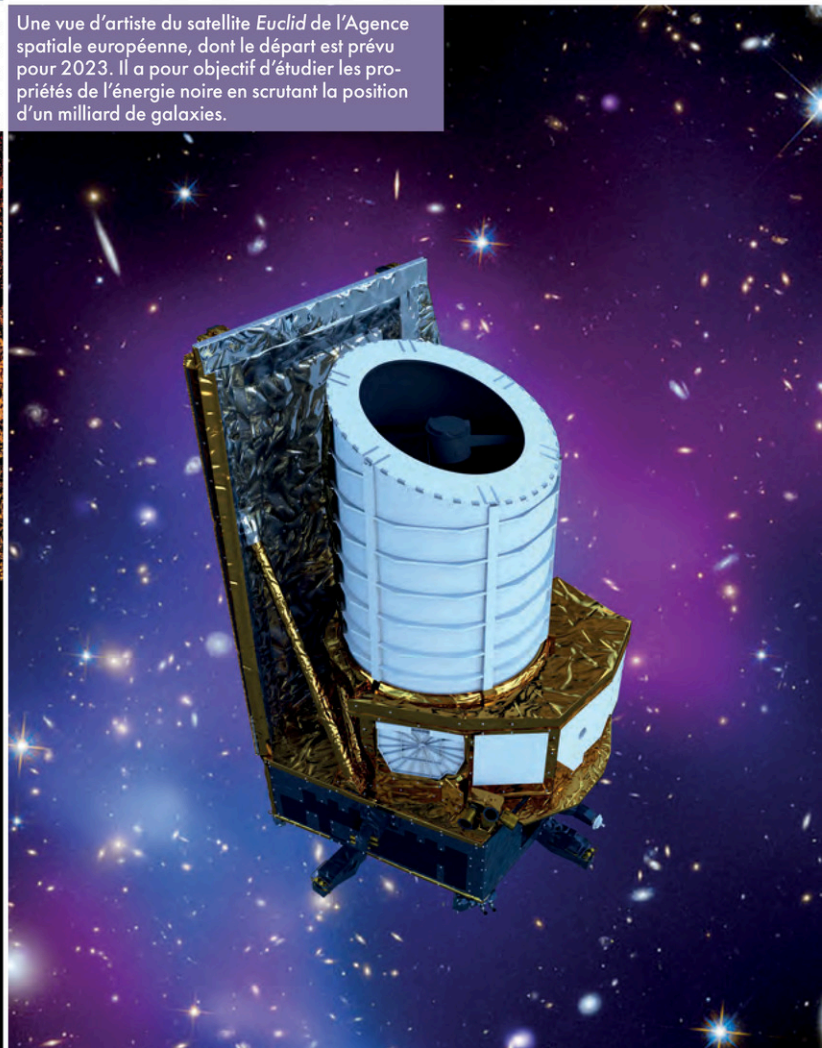
DANS L'UNIVERS...



Le télescope *Mayall* à l'Observatoire de Kitt Peak, aux États-Unis, a été équipé de l'instrument DESI, qui cartographiera plus de 35 millions de galaxies.



En quelques mois de service, DESI a déjà cartographié 7 millions de galaxies. Cette carte préliminaire en représente 400 000. La Terre est au centre, et les galaxies les plus éloignées se trouvent à 10 milliards d'années-lumière.



Une vue d'artiste du satellite *Euclid* de l'Agence spatiale européenne, dont le départ est prévu pour 2023. Il a pour objectif d'étudier les propriétés de l'énergie noire en scrutant la position d'un milliard de galaxies.

IMAGES : P. MARENFELD; NOIRLAB/NSF/AURA • ESA • D. SCHLEGEL/BERKELEY LAB À PARTIR DE DONNÉES DE DESI; M. ZAMANI (NSF'S NOIRLAB) • ESA/ATG MEDIALAB (SATELLITE); NASA, ESA, CXC, C. MA, H. EBELING ET E. BARRETT (UNIVERSITÉ DE HAWAII/IFA), ET AL. ET STSCI

Mais son grand atout est sa cadence ; il va plutôt chercher les événements variables, comme les supernovæ », précise Nathalie Palanque-Delabrouille.

Ce que les chercheurs souhaitent observer en particulier, c'est le moment charnière où l'énergie sombre a commencé à stimuler l'expansion. Car ce coup d'accélérateur s'est surtout fait sentir sur les six derniers milliards d'années. Avant cela, l'énergie noire était probablement présente, mais discrète. « Son effet était moins apparent. Or au fur et à mesure que l'espace s'étend, il y a de plus en plus d'énergie noire. C'est contre-intuitif, mais elle ne se dilue pas dans l'espace, contrairement à la matière et à la radiation », explique Laurence Perreault-Levasseur. Si bien que, de négligeable, elle est devenue de plus en plus abondante, puis a pris le dessus sur la matière pour être aujourd'hui majoritaire. Comme si elle surgissait du vide, à mesure que celui-ci enfle !

AGENCEMENT COSMIQUE

Au-delà de ce point de basculement, les scientifiques s'intéressent aux empreintes que l'énergie noire a laissées sur la géométrie de l'Univers, en particulier sur les amas de galaxies. Car ses propriétés dictent la vitesse et la manière dont ces grandes structures cosmiques se forment. Si la gravitation régit l'agrégation de la matière, son effet est contré par la dilution produite par l'expansion. Ainsi, plus celle-ci est rapide (donc plus il y a d'énergie noire), plus la formation des structures cosmiques est ralentie.

Fait intéressant, ces structures se sont agglutinées par endroits sur la toile de l'espace-temps, laissant d'autres pans du cosmos moins densément « peuplés ». « La répartition des galaxies n'est pas aléatoire, explique Nathalie Palanque-Delabrouille. En fait, on retrouve des motifs (voir l'encadré ci-dessous) qui sont liés à l'Univers primordial, des sortes d'anneaux sur lesquels se concentrent les amas de galaxies. » Ce n'est qu'en accumulant des millions de points

En repérant les empreintes circulaires héritées de l'enfance de l'Univers, les cosmologistes pourront décrypter l'influence de l'énergie noire sur ces motifs.

LIRE LES SIGNES DU CIEL

C'est notamment en repérant certains motifs de matière dans l'Univers que les scientifiques espèrent voir l'influence de l'énergie noire. D'où viennent ces dessins ? Tout a commencé, juste après le big bang, par une « soupe » primordiale immensément dense et chaude. Le tout jeune Univers était alors totalement opaque ; impossible pour la lumière d'y circuler. Dans ce plasma de matière ionisée, d'électrons et de photons, des ondes de pression (telles des ondes sonores) se sont propagées à partir de minuscules variations de la densité. « C'est un peu comme lorsqu'on jette des cailloux dans un lac. Chaque caillou crée un cercle, une vaguelette qui s'éloigne de l'endroit de l'impact. Dans l'Univers, cela correspondait en fait à des ondes de photons et de matière », explique la physicienne Nathalie Palanque-Delabrouille.

Puis, environ 380 000 ans après le big bang, le cosmos refroidit suffisamment pour devenir « transparent » : les électrons s'associent aux protons pour former les premiers atomes d'hydrogène, libérant ainsi l'espace pour que la lumière se propage enfin. « Subitement, c'est comme si le lac avait gelé. Toutes les vaguelettes se sont figées en l'état. La matière, constituée de ce qu'on appelle des baryons (des protons et des neutrons qui composent les atomes), s'est retrouvée là où les photons l'avaient portée. Or les photons se déplaçant à la vitesse de la lumière, on sait exactement quelle distance ces vaguelettes ont eu le temps de parcourir en 380 000 ans », poursuit-elle. Les empreintes circulaires, qui portent le nom barbare d'oscillations acoustiques baryoniques (BAO), ont formé des « noyaux » de matière qui ont par la suite donné naissance aux galaxies.

Tout s'est étiré, superposé et entrecroisé depuis, « mais avec des méthodes statistiques, on doit pouvoir retrouver ces motifs, grâce aux nouveaux télescopes. L'étirement des motifs aux différentes époques va nous renseigner sur les variations du taux d'expansion ».

Quant à la toute première lumière émise lorsque les photons se sont échappés de la soupe, elle s'appelle « fond diffus cosmologique » et est encore perceptible aujourd'hui. Elle constitue en quelque sorte l'image de départ du film de la dilatation cosmique. Lors de simulations, les scientifiques partent de l'Univers actuel et tentent de « rembobiner la cassette » selon différents paramètres d'énergie noire. L'idée étant que les paramètres qui permettront le mieux de revenir au fond diffus cosmologique sont vraisemblablement ceux qui ont présidé jusqu'ici à son expansion… Un autre élément crucial dans la boîte à outils des chasseurs d'énergie noire.

IMAGE : ZOSIA ROSTOMIAN (LBNL), SDSS-III, BOSS

que les chercheurs pourront, de manière statistique, repérer ces motifs circulaires. « En comparant ensuite leur taille à travers les époques, on verra comment ils ont grandi, ce qui donnera des indices sur le taux d'expansion et l'énergie noire. » Les premiers relevés cartographiques de DESI seront publiés sous peu, mais il faudra de longues analyses avant d'en savoir plus sur la nature de cette force répulsive...

C'est justement sur le décryptage des données que Laurence Perreault-Levasseur concentre ses efforts. « Cette nouvelle génération de télescopes va produire des quantités inouïes de données. Nous aurons besoin de l'intelligence artificielle pour accélérer les simulations et connecter nos observations aux paramètres qu'on veut mesurer », explique cette spécialiste de l'apprentissage machine appliqué à la cosmologie. « Sans ces outils automatiques, le décryptage des données prendrait littéralement des centaines d'années ! » souligne-t-elle. Les modélisations permettront de confronter différents scénarios d'expansion aux observations et de déduire ce qui colle le mieux à la réalité.

L'IMPORTANCE D'ÊTRE CONSTANTE

Dès que les mesures seront claires, les cosmologistes disposeront d'un premier élément de réponse, en découvrant si la densité de l'énergie sombre est constante dans le temps ou si elle fluctue. Le premier cas de figure est le plus simple : Albert Einstein lui-même avait introduit dans ses équations de la relativité générale une « constante cosmologique » qui pourrait bien correspondre à cette énergie. « Aujourd'hui, la constante cosmologique est compatible avec les observations. Rien ne nécessite qu'on aille au-delà », résume Jean-Philippe Uzan, physicien théoricien à l'Institut d'astrophysique de Paris. Mais selon la valeur de cette constante, que la panoplie de nouveaux instruments aidera à déterminer, on pourrait avoir plus ou moins de difficultés à faire tenir le modèle.

Seconde option : l'énergie noire n'en fait qu'à sa tête et varie au fil de l'histoire. « Beaucoup de voies ont été explorées, il y a des dizaines de modèles envisagés, poursuit Jean-Philippe Uzan. Si je devais parier, je ne saurais pas sur quoi miser ! Il pourrait s'agir d'un nouveau type de matière. Ou encore, nous pourrions être amenés à carrément modifier la relativité générale. »

Auquel cas Einstein se retournerait dans sa tombe, lui qui ne s'est jamais trompé jusqu'ici ! Peut-être que ses équations flanchent à très grande échelle, ou qu'il a tout simplement oublié un ingrédient, une cinquième force omniprésente, en plus des quatre connues qui régissent la physique. « On sait que la théorie d'Einstein n'est pas une théorie complète », rappelle Robert Brandenberger. La physique de l'infiniment grand et celle de l'infiniment petit, décrite par la mécanique quantique, sont presque parfaites chacune de leur côté, mais elles sont incompatibles... « Si on comprenait toutes les forces de manière quantique, on aurait peut-être une explication pour l'énergie noire. C'est l'idée à l'origine de la théorie des cordes », indique le physicien de l'Université McGill, qui travaille justement sur cette approche complexe, la plus étudiée des théories d'unification.

Autant dire que la question est épineuse. Et l'enjeu, majeur. Au-delà de l'élucidation de la nature profonde de notre Univers, cette quête permettra aussi de saisir son destin. Le cosmos s'étendra-t-il à jamais ? Si l'énergie noire vient à manquer, s'effondrera-t-il sur lui-même, dans un « *big crunch* » ?

Chose certaine, il y a des raisons d'espérer. « Ce genre de situation, où un modèle fonctionne très bien mais où une composante est manquante, s'est déjà produit par le passé. Ça a parfois conduit à de grandes découvertes, rappelle Nathalie Palanque-Delabrouille avec enthousiasme. C'est avec des masses manquantes qu'on a découvert Neptune, par exemple, et les neutrinos ! On est en train de scruter l'Univers avec une précision inédite, donc on espère qu'on va mettre le doigt sur le mystère. » Et enfin expliquer la magie noire par de la science. ●

IMAGE : NASA/CXC/U.TEXAS

LES CHANDELLES COSMIQUES

Les étoiles meurent parfois en rendant service à la science. C'est le cas des supernovæ de type Ia, grâce auxquelles on a découvert que l'expansion de l'Univers accélérait. Ces explosions se produisent dans des systèmes d'étoiles doubles, lorsqu'une étoile très vieille atteint 1,44 fois la masse de notre Soleil en « avalant » son étoile compagne. Le scénario est toujours le même, si bien que la luminosité du cataclysme est constante. C'est pourquoi les astronomes utilisent ces événements (plutôt rares) comme des « chandelles standards ». Comme ils connaissent exactement leur intensité lumineuse, ils peuvent en déduire la distance : plus le flash est fort, plus la supernova est proche. Pour « calibrer » ces chandelles, notons qu'ils utilisent d'autres phares cosmiques, les céphéides, qui sont des étoiles plus proches dont la luminosité « pulse » – la fréquence de ces pulsations permettant de déterminer l'éclat intrinsèque de l'étoile. En étudiant par ailleurs le décalage vers le rouge du rayonnement de toutes ces lanternes, on peut estimer l'ampleur de la dilatation du cosmos. Le verdict, en 1998, fut sans appel : les supernovæ les plus lointaines étaient moins brillantes, donc plus distantes, que ce à quoi les chercheurs s'attendaient en cas de décélération de l'expansion. Celle-ci s'accélérait plutôt.

FRACASSER LE MUR DU TEMPS GRÂCE À L'ADN

À l'ère des tests génétiques bon marché, la généalogie mène à des découvertes inédites. Quitte à brasser l'arbre généalogique de milliers de Québécois ! PAR RAPHAËLLE DEROME

ILLUSTRATION :
FRANÇOIS BERGER
DIRECTION ARTISTIQUE :
NATACHA VINCENT

Depuis quatre ans, Dominic Gagnon passe beaucoup de temps sur Internet. Le jour, l'homme de 41 ans est professeur d'anglais au primaire dans une école de Québec. Mais dans ses temps libres, plusieurs heures par semaine, il fait ses recherches. Avec quelques collaborateurs chevronnés, il débusque des affaires aux ramifications internationales et révèle des secrets qui viennent ébranler certaines des plus grandes familles québécoises. « On n'est pas des tripeux de sous-sol. Ce qu'on fait, personne d'autre ne le fait », souligne-t-il. Complotistes ? Lanceurs d'alerte ? Non. Généalogistes amateurs.

« Je suis conscient que mes proches me trouvent drôle », admet Dominic Gagnon en parlant de son loisir peu commun. Son intérêt pour la généalogie remonte à l'adolescence. « J'ai commencé de manière traditionnelle, en lisant sur l'histoire des Gagnon. J'ai ensuite passé un test génétique pour vérifier si j'étais vraiment un Gagnon. Mais ça fait longtemps que je ne m'intéresse plus juste à l'histoire de ma famille ! »

Pendant des décennies, la généalogie a été affaire de vieux papiers : actes de naissance, de mariage et de décès, recensements, registres paroissiaux – aujourd'hui numérisés par millions et accessibles d'un

« C'est la compulsion de compléter le puzzle. Tu commences par un bout, mais la famille est un système… les uns dépendent des autres. »

– Marise Murphy, amatrice de généalogie

clic. Mais la popularité grandissante des tests génétiques bouscule bien des choses dans le petit monde de la généalogie. Grâce à l'ADN, on atteste de la véracité de légendes familiales millénaires. On découvre des origines ethniques insoupçonnées. Et on révèle aussi des histoires d'adultères ou d'adoptions restées secrètes… « Certains auraient préféré ne pas savoir, reconnaît Dominic Gagnon. Mais on ne reviendra pas en arrière. Le génie est sorti de la bouteille. »

Pour moins de 200 dollars, n'importe qui peut se procurer sur Internet un kit de test auprès d'un laboratoire privé (comme AncestryDNA, 23andMe, MyHeritage, FamilyTreeDNA, etc.). Selon le forfait choisi, ce test révélera nos origines ethniques, nos prédispositions génétiques à certaines maladies ou, dans le cas qui nous occupe, nos liens de parenté plus ou moins étroits avec d'autres utilisateurs.

Si un client consent à se découvrir une parenté, il peut entrer en contact avec ceux et celles qui ont une proximité génétique avec lui. Reste alors à déterminer – grâce aux documents – quel lien familial les unit.

À ce chapitre, « il y a beaucoup d'entraide, par exemple pour les personnes adoptées qui cherchent leur famille biologique », souligne Marise Murphy, enseignante retraitée qui fouille l'histoire de sa famille depuis 15 ans. Une véritable passion ! « C'est la compulsion de compléter le puzzle. Tu commences par un bout, mais la famille est un système. Les uns dépendent des autres. Quand tu t'approches de ce que tu veux trouver, tu ressens une certaine ivresse… »

Les informations trouvées par les uns pouvant enrichir la quête des autres, il existe aussi des projets communautaires de recherche sur la généalogie d'une région ou d'un patronyme particulier. Avec d'autres bénévoles passionnés, Dominic Gagnon administre plusieurs groupes du genre sur le site de FamilyTreeDNA. Certains comptent plus de 10 000 membres. « C'est vraiment de la science participative ! » Au sein des projets Québec ADN et French Heritage DNA, M. Gagnon et ses acolytes croisent des informations pour retrouver les signatures génétiques des pionniers et pionnières du Canada français.

C'est possible grâce à la technologie particulière employée depuis une vingtaine d'années par FamilyTreeDNA. La plupart des concurrents offrent des tests dits « d'ADN autosomique » et analysent notre génome dans son ensemble. Cela nous renseigne sur les gènes hérités de nos ancêtres récents (entre 5 et 8 générations, donc entre 100 et 200 ans). Mais les tests de FamilyTreeDNA sont les seuls à se pencher de manière aussi détaillée sur l'ADN du chromosome Y (ou ADNy) et sur l'ADN mitochondrial (ADNmt). Le premier se transmet, intact, de père en

IMAGE : SHUTTERSTOCK.COM

INJUSTICES GÉNÉALOGIQUES

Tous ne sont pas égaux devant l'histoire. D'abord, les paysans européens du Moyen Âge : comme ils ne détenaient ni titres terriens ni armoiries familiales, l'histoire de leurs lignées s'est perdue dans les méandres du temps. Ensuite, il y a les ancêtres non européens, pour lesquels il existe mille cas de figure, dont celui des Afro-Américains descendants d'esclaves pour qui remonter le fil du temps est difficile. Dépouillés de leur histoire, plusieurs cherchent à renouer avec des ancêtres inconnus en passant un test génétique. « Mais les résultats sont parfois très déstabilisants, relève le généticien Simon Girard. On voit la même chose ici avec les personnes qui s'identifient comme issues des Premières Nations. » Imaginons un homme dont l'arrière-grand-mère était métisse. Et cette dame a transmis sa culture à ses descendants. Comme il y a brassage et dilution génétique à chaque génération – et que les tests ne sont pas parfaits –, le test ne révélera presque aucune appartenance autochtone, même si l'héritage culturel est bien présent. « L'identité n'est pas que génétique, rappelle le chercheur. Ce qu'on a dans notre génome, c'est une seule partie de la réponse. »

fils seulement. Quant à l'ADNmt, il est présent chez les deux sexes, mais ce sont presque exclusivement les femmes qui le transmettent à leur descendance. Ces tests permettent de remonter beaucoup plus loin dans le temps, mais uniquement sur la lignée paternelle ou maternelle.

AU PARADIS GÉNÉALOGIQUE

« Avez-vous le nom de votre grand-père, la date de son mariage ou encore le nom de votre arrière-grand-père ? » me demande Dominic Gagnon. Partageant son écran en visioconférence, il entre les informations dans une base de données généalogiques québécoise (nosorigines.qc.ca). En quelques clics, il remonte devant mes yeux interloqués la lignée de mes ancêtres paternels, jusqu'à Denis Derome, né à Auxerre, en France, en 1624.

À l'en croire, ce n'est pas un grand tour de force. Il faut dire que le Québec est un peu le paradis de la généalogie, d'abord grâce à sa tradition catholique française. En 1539, le roi François Ier ordonnait aux curés de tenir un registre des baptêmes, créant la première forme d'état civil. La pratique s'est maintenue en Nouvelle-France : sur quatre siècles, les prêtres catholiques ont consigné – religieusement ! – le nom des deux parents, y compris le nom de jeune fille de la mère. (Alors que dans le monde protestant, on désignait la femme selon le nom de son mari, ce qui compliquait les recherches généalogiques de ses descendants.) « Je suis à cheval entre deux origines, écossaise et irlandaise, et je vois tout de suite la différence quand j'arrive dans les registres. C'est beaucoup plus facile de remonter une lignée catholique ! » constate Marise Murphy.

Les documents ont aussi été mieux conservés ici qu'en Europe, où nombre d'archives ont été détruites par les guerres ou les révolutions. Enfin, des projets universitaires ajoutent de l'eau au moulin. BALSAC, basé à l'Université du Québec à Chicoutimi, est un fichier de population qui reconstitue les familles et les lignées généalogiques d'ici sur quatre siècles. L'autre mastodonte étant le Programme de recherche en démographie historique, mené par l'Université de Montréal et l'Institut généalogique Drouin.

Résultat, la plupart des Québécois arrivent à remonter jusqu'à leur premier ancêtre européen ayant immigré ici. « Retrouver des documents en Europe est très compliqué, précise Dominic Gagnon. Et si on en trouve, la trace documentaire s'arrête la plupart du temps en 1539. Là, on se heurte à un mur ! » Mais il arrive que les données génétiques permettent de fracasser le mur… et de battre un record mondial.

JUSQU'AU MOYEN ÂGE

Dominic Gagnon et ses collègues viennent justement de publier un tel record, au Québec dans la revue *L'Ancêtre* et en France dans la *Revue de l'Avranchin*. L'histoire commence en 2019, quand Dominic Gagnon propose à son propre cousin, un certain David Fauchon, de passer un test génétique. « J'étais curieux de connaître l'histoire de ce nom de famille peu commun. » Dans la base de données du site FamilyTreeDNA, une correspondance apparaît. Un Français, capitaine de marine marchande dans la trentaine, membre de la famille de Verdun, possède la même séquence sur son chromosome Y. Coup de chance : l'homme dispose déjà de son arbre généalogique, qui remonte jusqu'au Moyen Âge. Son plus lointain ancêtre, le seigneur normand Bertram de Verdun, a participé en 1066 à la conquête de l'Angleterre aux côtés de Guillaume le Conquérant.

Dans la base de données, d'autres hommes sont aussi porteurs du même chromosome Y que David Fauchon : un Varden dans l'État de Washington, un Vardon en Ontario, un Battaglia de Chicago… Seraient-ils tous descendants du Bertram en question ? Pour résoudre le casse-tête, il faudra tester plus de membres des différentes branches de la potentielle famille. Dominic Gagnon contacte plusieurs inconnus pour les convaincre de passer un test.

De fil en aiguille, grâce aux tests d'ADNy de 15 descendants actuels (que Dominic Gagnon a traqués sur LinkedIn et même parfois par la poste !), la recherche révèle

Les dessous de l'ADNy et de l'ADNmt

La majorité de l'ADN d'un individu provient du brassage aléatoire des gènes de ses deux parents. Mais il existe deux fragments particuliers d'ADN qui se transmettent de génération en génération de manière presque inchangée et qui peuvent agir comme « signature génétique ancestrale » : l'ADN du chromosome Y (ADNy) et l'ADN mitochondrial (ADNmt). Ce dernier est un génome « à part » qui se cache dans nos mitochondries, les sortes d'usines à énergie de nos cellules.

Un test d'ADNy réalisé chez un homme révélera les secrets de sa lignée paternelle, alors qu'un test d'ADNmt réalisé chez une femme ou un homme révélera les secrets de la lignée maternelle.

Si deux personnes partagent une même séquence, elles ont forcément un ancêtre commun. Si deux frères n'ont pas le même chromosome Y, il faut en conclure qu'ils n'ont pas le même père biologique. Et si deux frères et/ou sœurs ne partagent pas le même ADNmt, ils n'ont pas la même mère biologique.

L'analyse des signatures ADN est possible grâce aux mutations qui s'inscrivent spontanément dans le code génétique – toutes les trois ou quatre générations en moyenne. Une mutation de type SNP (pour *single-nucleotide polymorphism*, ou polymorphisme nucléotidique) correspond à la modification d'une seule unité de notre code génétique. À partir du moment où une mutation apparaît sur le chromosome Y d'un homme ou dans le génome mitochondrial d'une femme, leur descendance va en hériter pour toujours. Ces mutations s'accumulent au fil des générations, ce qui permet de distinguer les différentes branches des familles, « comme avec les variants de la COVID-19 ! » relève l'amateur de généalogie génétique Dominic Gagnon.

SQUELETTE ROYAL

L'alliance entre généalogie et génétique permet une variété de projets, notamment l'identification de restes anciens. Les plus célèbres sont sans doute ceux du roi anglais Richard III, tué au combat en 1485 puis enterré dans une tombe anonyme. Des restes retrouvés lors de fouilles en 2012 et présumés comme étant les siens ont pu être identifiés en comparant l'ADN prélevé sur le squelette à celui de descendants vivants de la famille royale. Richard III n'ayant eu qu'un fils, mort en bas âge, et aucun petit-fils, on a dû avoir recours aux descendants de sa sœur, Anne d'York. Frère et sœur étaient en effet porteurs de la même séquence d'ADN mitochondrial, héritée de leur mère. De mère en fille, Anne d'York a ainsi pu transmettre la signature génétique féminine à ses descendants sur plus de 17 générations. C'est cet ADN mitochondrial qui a permis d'identifier formellement la dépouille de Richard III, puis de la réinhumer lors de fastueuses cérémonies.

que Bertram de Verdun est bel et bien l'ancêtre des Verdon britanniques, des Fauchon du Québec, des Battaglia de Sicile et même des Haviland de Guernesey. Chaque lignée est documentée jusqu'à aujourd'hui, sur plus de mille ans. Pour compenser le manque de documents au Moyen Âge, le groupe se base notamment sur les titres de propriété et le motif des armoiries familiales.

Ces travaux établissent l'année de naissance de Bertram de Verdun à 1040 ou avant, ce qui ferait de sa lignée la plus vieille lignée documentée et attestée par ADNy. Précédemment, des chercheurs de l'Université d'Oxford avaient réussi à établir la lignée ADNy du roi Somerled, né vers 1110. « Qu'un groupe d'amateurs comme nous arrive à détrôner un record d'Oxford, c'est tout à fait inespéré ! » s'exclame M. Gagnon. Un exploit rendu possible « grâce à la richesse des archives anglo-normandes aux 11e et 12e siècles, et au fait que cette famille ait assuré une descendance patrilinéaire sans interruption, tant en France qu'en Angleterre ».

DOMMAGES COLLATÉRAUX

Les documents anciens regorgent de bonnes anecdotes. « J'ai découvert que j'étais une descendante de l'empereur Charlemagne ! dit en riant Marise Murphy. Mais j'ai aussi trouvé parmi mes ancêtres un couple d'assassins qui a fini sur la potence… »

Si les documents racontent une histoire, l'ADN en raconte parfois une autre. Au Québec, il existe au moins 150 associations de familles, regroupant en tout 20 000 membres. Tournois de golf, conférences, cabane à sucre : des réunions permettent aux membres de se rencontrer et de célébrer la mémoire de leurs ancêtres Perron, Boucher, Trudel, Martineau… Mais la famille Fournier est la première à avoir fait face à une découverte génétique venant remettre en question l'appartenance à une lignée, à une famille, à un patronyme.

En 2020, dans la revue de vulgarisation *Histoire Québec,* le généalogiste amateur Pierre Gendreau-Hétu (qui fait également partie des administrateurs du projet collaboratif Québec ADN avec Dominic Gagnon) révélait que l'ancêtre Charles Fournier, né en 1677, n'était pas le fils biologique du pionnier Guillaume Fournier. Les tests génétiques menés sur des descendants dudit Charles ont démontré qu'ils portaient en réalité la signature génétique de Jean Gaudreau, voisin des Fournier. Scandale !

On ignore la cause de ce qui est appelé pudiquement un « événement non parental ». Infidélité ? Viol ? Adoption ? Quoi qu'il en soit, on estime que cette rupture généalogique affecte aujourd'hui un demi-million de descendants vivants. « Ça a créé de grosses déceptions chez certains, témoigne Hélène Fournier, présidente depuis 2018 de l'Association des Fournier d'Amérique, qui vise la fraternisation et la consolidation de l'histoire et du patrimoine des porteurs du patronyme. Les curieux de nature apprécient le côté scientifique et l'ouverture nouvelle sur leurs origines,

DES MILLIERS D'ANCÊTRES

Par le passé, les gens se contentaient souvent de retracer leur lignée généalogique paternelle. Traditionnellement, la lignée maternelle (de mère en fille) était plus complexe à bâtir : « Les femmes prenaient le nom de leur mari, donc la lignée changeait de nom à chaque génération », explique la généalogiste Marise Murphy.
Aujourd'hui, avec les bases de données sur Internet, il est beaucoup plus facile de réaliser un arbre complet. Cela demeure toutefois une tâche immense, qui nécessite un logiciel spécialisé. Comme le nombre d'ancêtres double à chaque génération, on se retrouve à jongler avec 8192 noms au bout de 13 générations !

IMAGE : WIKIMEDIA COMMONS

mais pour d'autres, ça ne passe pas du tout. C'est même traumatisant !»

D'un strict point de vue génétique, la contribution de chacun ou chacune de nos ancêtres, Charles Fournier inclus, n'est pas très élevée : moins de 1 % de notre ADN au bout de 300 ou 400 ans… « La lignée paternelle [le fils du fils du fils du fils… de Charles Fournier, jusqu'aux Fournier de 2022] ne contribue pas plus que les autres au patrimoine génétique d'un individu… C'est simplement qu'elle est mieux connue parce qu'elle transmet le patronyme », rappelle la démographe Hélène Vézina, professeure au Département des sciences humaines et sociales de l'Université du Québec à Chicoutimi et directrice du projet BALSAC.

Il n'empêche que, pour les membres de la famille Fournier, le lien avec l'ancêtre est important. « C'est plus un lien émotif, reconnaît Hélène Fournier. Certains ont voyagé en France sur la terre des ancêtres, consulté les archives là-bas, essayé de trouver la maison où Guillaume Fournier a habité… Cette annonce vient démolir des années de recherches, de déplacements, de lectures ! »

Ce sont les dommages collatéraux des tests d'ADN. Hélène Fournier déplore que la quête d'une poignée d'individus en affecte indirectement d'autres, qui n'ont rien demandé… Elle prône néanmoins la transparence. « Une fois qu'on détient une information, ça ne sert à rien de la cacher. »

REDÉFINIR LA FILIATION

Charles n'a pas hérité des gènes de son père (adoptif) Guillaume Fournier, soit. Mais il a tout de même hérité du patronyme, du patrimoine (terre et bâtiments), des valeurs familiales… Hélène Fournier propose aux descendants de Charles Fournier d'ajouter de nouvelles branches à leur arbre généalogique. Celui-ci comprendra une lignée patronymique (nom de famille) et une lignée patrilinéaire (génétique).

Chose certaine, « on ne changera pas notre nom de famille aujourd'hui parce qu'on découvre qu'il y a 300 ans, un de nos ancêtres n'était pas le fils biologique d'un Fournier ! » conclut-elle.

Le généticien Simon Girard, de l'Université du Québec à Chicoutimi, adopte la même philosophie. « Pendant longtemps, les projets de généalogie étaient bloqués pour les personnes adoptées », déplore celui qui a lancé, il y a quelques mois, la Cohorte participative du Québec (CopaQ). Ce projet de recherche en génétique des populations invite les citoyens ayant passé des tests d'ascendance génétique à soumettre leurs résultats à sa base de données en échange de rapports scientifiques vulgarisés et personnalisés – personnes adoptées incluses.

« Pour nous, une adoption, c'est juste une information de plus. La personne choisira si elle fournit sa généalogie adoptive ou biologique. Et on va travailler avec ça. » Le chercheur pense qu'on pourrait un jour redéfinir la notion de lien généalogique. « Au Québec, on considère seulement la mère et le père biologiques. Mais en Afrique, la mère, c'est celle qui élève l'enfant, pas nécessairement celle qui lui donne naissance. Pourrait-on adapter notre format d'arbre généalogique pour modéliser ces liens-là ? On n'y est pas encore, mais j'aimerais essayer ! »

« C'est un raccourci trop direct de ne considérer que les gens qui ont contribué à ta biologie, dit Simon Girard. De plus en plus, en recherche, on va tout prendre en compte : où tu as grandi, comment tu as grandi… pas seulement comment tu es bâti. »

En attendant, Dominic Gagnon et sa bande continuent leurs recherches sur les familles pionnières du Canada français. « Moi, le désir qui m'anime, c'est que les gens s'approprient leurs histoires familiales. On est chacun assis sur de belles histoires et on ne trouve pas ça intéressant ! On se dit que les historiens ou les généalogistes savent déjà tout… » C'est loin d'être le cas. « Nous avons répertorié environ 900 signatures ADN dans notre catalogue, sur environ 5000 pionniers. « On en a à peine effleuré le cinquième… C'est certain qu'on va découvrir autre chose. »

UNE PLACE AU SOLEIL

Un programme de bourses postdoctorales destiné à des femmes autochtones du Mexique met en évidence les trajectoires exceptionnelles de ces scientifiques qui avaient tout contre elles.

PAR EMMANUELLE STEELS

ILLUSTRATION :
ORCÉINE/ AUDREY DESAULNIERS
DIRECTION ARTISTIQUE :
NATACHA VINCENT

LA dernière fois que Soledad Pech Cohuo s'est rendue à un congrès scientifique vêtue de ses habits traditionnels mayas, brodés de motifs floraux colorés, le portier de l'hôtel où se déroulait l'événement, dans le nord du Mexique, lui a barré le passage. « Les vendeuses ambulantes d'artisanat ne sont pas admises », lui a-t-il lancé. La jeune femme a bredouillé quelques mots d'excuse tout en cherchant dans son sac le badge de participante lui donnant accès au congrès.

Quelques mois plus tard, assise à la terrasse d'une échoppe de jus à Mérida, la capitale de l'État du Yucatán dont elle est originaire, Soledad Pech Cohuo se remémore l'incident avec une certaine amertume. « Tout s'est passé vite, et je ne me suis pas rendu compte qu'il me discriminait en tant que femme autochtone. »

L'ingénieure en chimie de 36 ans, titulaire d'un doctorat sur les polymères, ne correspond pas à l'image que la plupart des Mexicains se font des scientifiques. Dans un pays où la durée moyenne de scolarité des femmes issues des premiers peuples est de 6,2 ans, le parcours universitaire de Soledad Pech Cohuo est exceptionnel.

Depuis 2019, Soledad peut mener ses recherches sur la future génération d'emballages alimentaires dans un cadre idéal, cela grâce au PEPMI, le sigle en espagnol du Programme de postdoctorat pour femmes autochtones dans les domaines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STIM). Il s'agit d'un partenariat entre le Centre de recherches pour le développement international du Canada (CRDI) et, au Mexique, le Conseil national de sciences et technologie (CONACYT) et le Centre de recherche et d'études en anthropologie sociale (CIESAS).

« Quand nous avons dialogué avec le CONACYT, notre intérêt s'est porté sur les barrières qu'affrontent les femmes autochtones dans les carrières STIM, non

seulement pour l'accès aux études, mais aussi pour le financement de leurs recherches », explique Alejandra Vargas, spécialiste principale du programme éducation et sciences du CRDI.

La décision fut donc prise de soutenir douze candidates autochtones au Mexique pour qu'elles réalisent un programme de recherche postdoctoral de trois ans, ce que fait actuellement Soledad Pech Cohuo. L'enveloppe totale consacrée au projet est de 1,5 million de dollars canadiens.

Au siège du Centre de recherche en technologie et design du Jalisco, à Mérida, elle s'initie aujourd'hui à la chimie verte. Passionnée par l'étude des polymères synthétiques mais inquiète de la prolifération des résidus plastiques, elle travaille sur l'élaboration de polymères biocomposés. Dans le cadre d'un postdoctorat, elle cherche ainsi une solution de rechange aux plastiques fabriqués à partir de dérivés du pétrole. Ses pellicules biodégradables sont composées de chitosane obtenu à partir de résidus de crevettes, un produit de la pêche très important au Yucatán, et d'amidon, issu des graines de noyer maya (*Brosimum alicastrum*). Elles pourraient servir d'emballages alimentaires aux propriétés antibactériennes, antimicrobiennes et antioxydantes. Cela permettrait de retarder la dégradation de certains aliments et de prolonger leur temps de conservation.

RÉSEAU D'ENTRAIDE

Les deux cohortes de boursières postdoctorales (2018-2021 et 2019-2022) se composent chacune de six chercheuses. Sept peuples autochtones du Mexique sont représentés : il y a quatre Mayas originaires du Yucatán ; une Maya tseltal et une Maya mam de l'État du Chiapas ; deux Zapotèques, une Mixtèque et une Mazatèque de Oaxaca ; et deux Otomies de l'État de Mexico. Ensemble, elles ont constitué un réseau de femmes autochtones scientifiques, le REDMIC, une plateforme pour créer des interactions et des convergences entre leurs projets de recherches.

Au-delà de leur programme de recherche postdoctoral, les boursières développent un projet d'éducation communautaire en rapport avec leur champ d'études. Pour ce volet, le CRDI octroie à chacune une aide de 50 000 pesos (3150 dollars canadiens) à deux reprises : lors de la première et de la deuxième année de leur postdoctorat. Certaines d'entre elles réalisent leur projet directement dans leur communauté d'origine.

Soledad Pech Cohuo a organisé huit ateliers éducatifs, étalés sur deux semaines, dans le petit village de Tixcacal, d'environ 1300 habitants, à dix kilomètres de Mérida. Jusqu'en 2020, cette petite communauté dépendait économiquement de son hacienda, un domaine où était autrefois cultivée la fibre de sisal, pour la production de cordages, et converti en hôtel. De nombreux événements, mariages et réceptions étaient organisés dans l'élégant édifice rouge et blanc qui domine les lieux avant que l'hacienda ne ferme ses portes sous l'effet de la pandémie de COVID-19. Le lieu n'est pas redevenu le poumon économique qu'il était.

Les ateliers de la chercheuse, orientés sur la production d'aliments et le recyclage des résidus, sont conçus pour redonner un coup de pouce économique à la communauté. Les participants mettent à profit l'intégralité des fruits par l'entremise de la préparation de confitures et de la récupération des pelures pour fabriquer des bioplastiques ; ils préparent des conserves alimentaires ; ils apprennent les bases du compostage. Ils s'entretiennent aussi des bénéfices pour la santé des fruits régionaux et du noyer maya… « Le but est de potentialiser les aptitudes des habitants pour qu'ils puissent monter des entreprises communautaires ou s'auto-employer », explique Soledad Pech Cohuo.

Dans la maison communale, une petite bâtisse coloniale jaune dans la rue principale de Tixcacal, une douzaine d'habitantes – un seul homme figure parmi les participants – sont rassemblées autour de deux tables et suivent attentivement les consignes des chercheurs qui assistent « *la doctora* Soledad ». Ce jour-là, pendant que les oiseaux s'égosillent dans les branches de l'immense flamboyant du jardin, les femmes apprennent le fonctionnement de la levure dans la pâtisserie en préparant un *pan de muerto*, un pain sucré typique du jour des morts, et des tortillas de blé. « C'est très utile, je vais appliquer tout ce qu'on a appris pour élaborer des préparations et les vendre », témoigne Jamie Moo Euán, une jeune Maya dont le mari vient d'émigrer aux États-Unis par manque de travail.

Nancy González Canché, une autre boursière du programme de postdoctorat, a profité d'un voyage dans sa terre natale pour participer aux ateliers de sa collègue et enseigner aux habitants de Tixcacal les possibilités du recyclage des agrumes et des coques de noix de coco pour la fabrication de matériaux servant à capter l'énergie solaire.

La chercheuse de 38 ans est originaire de la petite communauté de Tekit, dans l'État du Yucatán, mais elle réalise son programme de postdoctorat au Centre de recherches optiques d'Aguascalientes, dans le centre du Mexique. Chimiste de formation, elle conçoit des technologies thermosolaires. Dans son laboratoire, les pelures d'agrumes sont soumises à un processus de pyrolyse visant leur transformation en pigments qui absorbent la lumière. Ceux-ci sont ensuite utilisés pour la fabrication de revêtements peu coûteux et durables.

Passionnée par l'étude des polymères synthétiques mais inquiète de la prolifération des résidus plastiques, Soledad Pech Cohuo travaille sur l'élaboration de polymères biocomposés.

Fille d'une femme de ménage et d'un ouvrier agricole, Nancy González Canché n'était pas prédestinée à devenir scientifique. « Mes parents ayant à peine terminé le cycle primaire, je me concentrais énormément pour tout comprendre à l'école, car je savais que personne ne pourrait m'aider pour mes devoirs à la maison », raconte-t-elle, tout en soulignant le soutien moral que ses parents lui ont apporté pour l'inciter à poursuivre des études. Elle a aussi croisé la route de professeurs qui ont su canaliser son potentiel pour les sciences. Pour financer ses études universitaires, elle a travaillé comme femme de ménage. C'est seulement grâce à cet emploi qu'elle a pu,

IMAGES : SHUTTERSTOCK.COM/EMMANUELLE STEELS

La chercheuse Soledad Pech Cohuo, à Mérida

après plusieurs trimestres à l'université, acheter son premier ordinateur.

Nancy González Canché évoque également la difficulté de se frayer un chemin dans l'univers universitaire et scientifique sans référent féminin et avec peu de modèles autochtones. « Je n'étais pas directement discriminée, mais on me regardait comme un ovni », dit-elle en riant.

Son histoire fait écho à celle de Soledad, fascinée par les sciences depuis toute petite et encouragée par ses parents, qui a dû faire sa place un peu à contre-courant. Son baccalauréat en poche, Soledad a d'abord été engagée comme superviseuse de production dans une grande entreprise de boissons gazeuses, où elle a subi les préjugés de ses collègues. « Les hommes ne me respectaient pas, ils vivaient mal le fait que je leur donne des ordres », se souvient-elle. C'est lorsque son chef lui suggère de demander la permission de son mari pour assister à une formation que la jeune femme quitte le monde de l'entreprise pour investir celui de la recherche.

Le parcours hors norme de ces femmes ne doit pas faire oublier qu'au Mexique, près d'un demi-million d'enfants autochtones de 3 à 17 ans ne vont pas à l'école. C'est pour cette raison, selon l'historien du CIESAS David Navarrete, spécialiste des processus éducatifs des peuples autochtones, que les efforts publics se sont concentrés durant des décennies sur l'inclusion des autochtones au niveau primaire et secondaire, mais pas universitaire. « C'est le secteur de la population mexicaine le plus exclu de tous les bénéfices du développement, de manière encore plus aiguë sur le plan éducatif, et en particulier au niveau universitaire », analyse-t-il.

La brèche est tangible : 18,6 % des Mexicains de plus de 15 ans ont fait des études supérieures, contre 7,2 % parmi les autochtones. Et si l'on considère les plus de 25 ans ayant réalisé une maîtrise, l'écart se creuse encore : ils sont 2,5 % dans la population en général, mais seulement 0,8 % parmi les autochtones.

« Un facteur fondamental qui explique le parcours exceptionnel de ces femmes autochtones scientifiques est le soutien de leur famille. Malgré la précarité, malgré leur condition de femmes, leurs parents les ont incitées à étudier au lieu de devenir mères au foyer », signale David Navarrete.

L'exemple de Zoila Mora Guzmán, 35 ans, est particulièrement évocateur. Élevée dans l'extrême pauvreté, dans une maison au sol en terre et au toit en paille de Chiquihuitlán, un village de l'État de Oaxaca, cette biochimiste issue de l'ethnie mazatèque a conclu l'an dernier son postdoctorat au Centre de recherches scientifiques d'Ensenada, en Basse-Californie, grâce au PEPMI. Elle y a étudié l'effet d'un récepteur d'une protéine, le facteur de croissance transformant bêta, dans la prévention et le traitement des métastases osseuses du cancer du sein.

Ses quatre frères aînés ont quitté la maison très jeunes pour partir travailler en ville. Mais le père de Zoila Mora Guzmán, analphabète, a toujours prédit à sa fille une grande carrière. « Quand j'étais enfant, se souvient-elle, ma mère m'apprenait à faire des tortillas et je courais accueillir mon père qui revenait du travail aux champs pour lui raconter. Mais lui se fâchait : « Il est hors de question que ma fille apprenne à faire des tortillas, elle sera une professionnelle brillante ! »

Sciences, technologie, ingénierie, mathématiques : ce ne sont pas les filières de prédilection des étudiants d'origine autochtone au Mexique, et encore moins des femmes. « Ces étudiants s'orientent majoritairement vers l'éducation et les sciences humaines et sociales, vers des carrières qui leur permettent de résoudre les problèmes concrets de leurs communautés », analyse Maria Antonieta Gallart, coordinatrice du programme au sein du CIESAS. Ils deviennent professeurs, avocats ou traducteurs et interprètes de langues autochtones.

Depuis dix ans, cette anthropologue supervise également un programme plus vaste de bourses de maîtrise et de doctorats pour étudiants autochtones dans toutes les branches universitaires, femmes et hommes confondus. « Au sein même des peuples autochtones, il y a une grande disparité, explique Maria Antonieta Gallart. Certains ont des trajectoires éducatives mieux consolidées que d'autres, notamment les Nahuas, répartis dans toute la vallée centrale du Mexique, ou les communautés de Oaxaca. Malheureusement, nous luttons encore pour attirer des étudiants issus de peuples importants, comme les Huichols (centre-ouest du Mexique) ou les Tarahumaras (nord, État du Chihuahua). »

Les trois boursières rencontrées sont unanimes sur un point : le PEPMI représente une occasion unique de consolider leur carrière scientifique. « Les caractéristiques du programme, et notamment sa durée de trois ans, alors que les postdoctorats sont souvent limités à un an, nous offrent d'énormes possibilités, notamment celle de proposer notre propre projet de recherche, d'acquérir du matériel et de réaliser un projet communautaire », affirme Nancy.

Un des effets du PEPMI a été, pour ces chercheuses, de revendiquer fièrement leurs origines. Ces dernières sont même une force, ont-elles constaté. « En tant que femmes autochtones nous avons une vision scientifique particulière, qui consiste à chercher des solutions à partir des ressources dont nous disposons. »

Il faudrait le dire à un certain portier d'hôtel. ●

Le programme décrit dans cet article et la production de ce reportage ont été rendus possibles grâce au soutien du Centre de recherches pour le développement international du Canada (CRDI).

IMAGES : SHUTTERSTOCK.COM/EMMANUELLE STEELS

Le projet communautaire de Soledad Pech Cohuo inclut des ateliers de confection de conserves, d'élaboration de compost et de fabrication de bio-plastique à partir de pelures de fruits. Le dernier jour est consacré à la pâtisserie.

LA DOMPTEUSE DE PHAGES

MARIE-LAURENCE LEMAY S'EMPLOIE À BONIFIER NOS CONNAISSANCES SUR LES PHAGES, DES VIRUS QUI S'EN PRENNENT AUX BACTÉRIES, LES BONNES COMME LES MAUVAISES.

Blanc, jaune ou orangé, peu importe : les Canadiens fondent pour le cheddar ! Bon an, mal an, ils engloutissent en moyenne plus de trois kilos de ce fromage à pâte dure originaire d'Angleterre. Comme plusieurs autres produits laitiers fermentés, le cheddar n'existerait toutefois pas sans le précieux coup de pouce de *Lactococcus lactis*. C'est grâce à cette bactérie que le lait coagule et se transforme en caillé, première étape nécessaire à l'obtention d'un délice fromagé à insérer préférablement entre deux tranches de pain grillées. Bien entendu, l'industrie laitière prend toutes les précautions possibles afin de faciliter la vie de *Lactococcus lactis*.

Malgré tout, des invités-surprises viennent parfois importuner cette artisane du cheddar. Leur nom : les phages virulents de lactocoques appartenant au groupe sk1. Autrement dit, des virus qui s'attaquent aux bactéries. Un en particulier a retenu l'attention de Marie-Laurence Lemay lors de son doctorat en microbiologie réalisé à l'Université Laval : p2. « Il se trouve que c'est aussi un phage modèle sur lequel on disposait préalablement de beaucoup d'informations », se souvient celle qui est aujourd'hui chercheuse postdoctorale au sein du laboratoire d'Yves Brun, rattaché au Département de microbiologie, infectiologie et immunologie de l'Université de Montréal.

Dans ce projet de recherche, elle a exploité l'outil CRISPR-Cas9 afin d'étudier les gènes de p2 qui « ordonnent » la fabrication des protéines impliquées dans l'infection de *Lactococcus lactis*. « On était alors en 2014, on commençait à peine à parler de ce fameux outil d'édition génétique. Ma mission était de transférer ce système d'une bactérie à une autre qui ne le possédait pas dans l'espoir de rendre p2 inopérant », raconte celle qui a obtenu, à la fin 2021, une bourse d'excellence en recherche dans le cadre du programme L'Oréal-UNESCO Pour les femmes et la science. Ce prix soutient de jeunes scientifiques canadiennes sélectionnées par un comité d'experts à un moment charnière de leur carrière.

Il aura finalement fallu une année et demie avant que Marie-Laurence Lemay réalise ce tour de force. « Cela n'avait jamais été fait auparavant. Une chance que j'ai une tête de

PHOTO : LOUISE BILODEAU

cochon, parce que l'incertitude quant à la faisabilité de ce transfert était grande », indique-t-elle. Dans la foulée, elle a rédigé un protocole long d'une vingtaine de pages, publié en 2018 dans *Bio-protocol*, une revue savante accessible gratuitement. Cela est primordial, explique la principale intéressée. « À quoi sert de développer un tel outil si personne n'est en mesure de l'utiliser ? Encore aujourd'hui, c'est un de mes articles qui me rendent le plus fière. »

Marie-Laurence Lemay s'intéresse ces temps-ci aux « bons » phages, qui peuvent être une solution de rechange aux antibiotiques. Ces médicaments sont utilisés pour prévenir et traiter les infections bactériennes. Les bactéries ont cependant la fâcheuse tendance à évoluer au fil du temps, ce qui les amène à développer une résistance à ces molécules. Les conséquences sont nombreuses : augmentation des dépenses médicales, prolongation des hospitalisations, voire hausse de la mortalité. L'Organisation mondiale de la santé considère d'ailleurs la résistance aux antibiotiques comme un problème de santé publique comparable en dangerosité à celui d'une pandémie.

Les phages pourraient donc être utilisés en renfort, parce qu'ils sont capables de tuer des bactéries nocives pour la santé. Encore faut-il comprendre comment ils ciblent, infectent et tuent les bactéries, ce à quoi s'évertue la chercheuse. « Je m'intéresse cette fois-ci à un autre phage nommé phi CbK, qui infecte la bactérie *Caulobacter crescentus* [qui ne touche pas les humains] et a la particularité de posséder un gros bagage génétique, ce qui en fait un modèle intéressant. Pour ce faire, je recours à des outils comme la microscopie à fluorescence », spécifie Marie-Laurence Lemay. À terme, les résultats de ces travaux pourront être transposés à des bactéries à l'origine d'infections chez l'humain, comme *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*.

Elle a en tout cas ce qu'il faut pour s'acquitter de cette autre mission complexe, y compris une expérience d'une année à titre de responsable du Laboratoire de recherche et développement chez Agropur. C'est d'ailleurs cette parenthèse industrielle qui a confirmé son désir d'embrasser pour de bon une carrière universitaire. « Marie-Laurence est une meneuse née, estime Sylvain Moineau, professeur au Département de biochimie, de microbiologie et de bio-informatique de l'Université Laval, qui l'a dirigée au troisième cycle. La Faculté de médecine dentaire est même allée jusqu'à créer un Prix de leadership pour le lui remettre ! » Une anecdote qui vaut la peine d'en faire tout un fromage. ●

Par Maxime Bilodeau

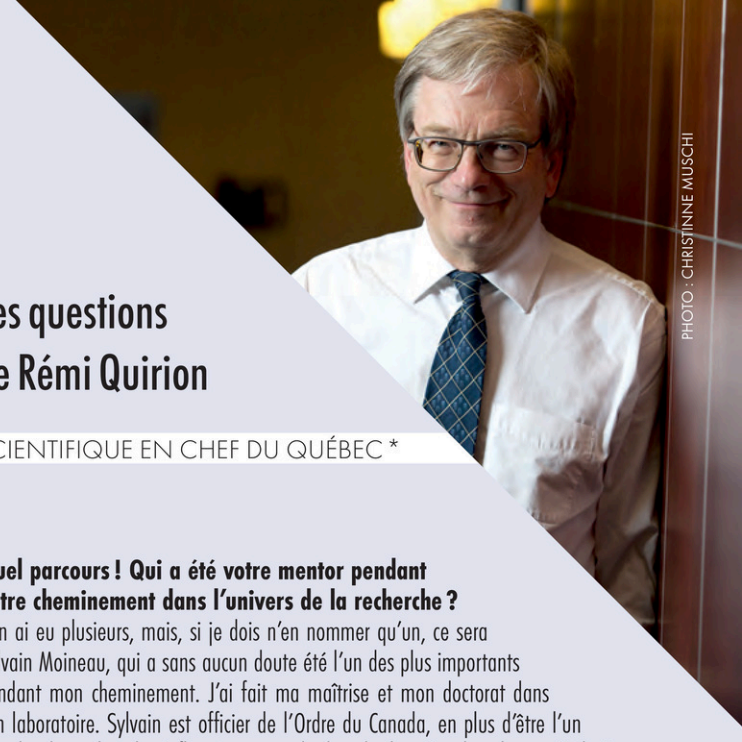


PHOTO : CHRISTINNE MUSCHI

Les questions de Rémi Quirion

SCIENTIFIQUE EN CHEF DU QUÉBEC *

Quel parcours ! Qui a été votre mentor pendant votre cheminement dans l'univers de la recherche ?
J'en ai eu plusieurs, mais, si je dois n'en nommer qu'un, ce sera Sylvain Moineau, qui a sans aucun doute été l'un des plus importants pendant mon cheminement. J'ai fait ma maîtrise et mon doctorat dans son laboratoire. Sylvain est officier de l'Ordre du Canada, en plus d'être l'un des chercheurs les plus influents au monde dans le domaine des phages. Malgré tous les honneurs qu'il a reçus, il reste simple, modeste, à l'écoute. C'est un leader modèle. Il m'a accordé la liberté et la confiance dont j'avais besoin pour m'accomplir en tant que jeune scientifique.

Dans quels autres secteurs industriels les phages pourraient-ils être mis à contribution ?
Dans tous les secteurs où il y a des bactéries. Ils recèlent en effet un potentiel économique et environnemental important pour les industries agroalimentaires, pharmaceutiques, biotechnologiques et des ressources naturelles.

De votre point de vue, quelles sont les différences entre l'univers universitaire et celui de la recherche dans le secteur privé ?
D'après mon expérience, il y a plus de place pour la recherche fondamentale dans le monde universitaire, alors que, dans le secteur privé, la recherche appliquée est priorisée. Une autre différence importante réside dans le fait que les occasions d'emploi sont beaucoup plus nombreuses dans le secteur privé. Cela dit, que ce soit dans les universités ou dans les industries, les scientifiques ont tous les mêmes objectifs, soit apprendre et créer de nouvelles connaissances.

Quel est l'impact économique de ces recherches pour le secteur de la santé ?
Il est énorme pour le secteur de la santé, quoique difficilement évaluable. Par exemple, l'industrie des biotechnologies, qui se chiffre à des milliards de dollars, n'aurait pas vu le jour sans l'étude des interactions phages-bactéries. La découverte des systèmes de restriction-modification dans les années 1950, la purification des enzymes de restriction près de deux décennies plus tard ainsi que la caractérisation des systèmes CRISPR-Cas dans les années 2000 ont été possibles grâce à l'étude de la réponse bactérienne à l'infection aux phages. Aujourd'hui, ces technologies sont indispensables en recherche et pour certaines applications en santé.

* Le scientifique en chef du Québec conseille le gouvernement en matière de science et de recherche, et dirige les Fonds de recherche.

Québec
Fonds de recherche – Nature et technologies
Fonds de recherche – Santé
Fonds de recherche – Société et culture

scientifique-en-chef.gouv.qc.ca
facebook.com/SciChefQC
@scichefqc

ÉMILIE FOLIE-BOIVIN @efolieb

REGARDER

Toujours vivants

Imaginez qu'il existe une machine à voyager dans le temps capable de catapulter les meilleurs documentaristes de la BBC 66 millions d'années en arrière. Ces pros de la vidéo auraient l'occasion de suivre les dinosaures comme ils l'ont fait pour les éléphants et les dauphins à long bec dans *Planet Earth* et *Blue Planet*. Ce serait terriblement excitant, n'est-ce pas ?

Eh bien les images hyperréalistes de l'ambitieuse série *Prehistoric Planet* nous donnent l'illusion qu'ils y sont parvenus ; c'est à s'en décrocher la mâchoire ! Le rendu visuel tient davantage du dernier *Roi Lion* que du *Monde jurassique* : logique sachant que le producteur délégué Jon Favreau est aux commandes, lui qui s'est fait les dents sur le célèbre conte de Disney. La série déclinée en cinq épisodes suit les standards habituels de la dynastie documentaire jusque dans la narration par sir David Attenborough.

Les plus récentes découvertes paléontologiques s'animent ainsi sous nos yeux et révèlent les comportements de ces géants disparus ainsi que de la faune et la flore qu'ils côtoyaient. Ce papa tyrannosaure nageant avec ses petits, la parade nuptiale électrisante des ammonites, ce fabuleux *Deinocheirus* qui a maille à partir avec les moustiques et la surprenante bataille entre deux *Dreadnoughtus* ne sont que quelques-uns des nombreux moments forts de la série. Ces éléments animés sont intégrés à de vrais paysages. Pour ces panoramas, l'équipe a parcouru le monde à la recherche de milieux naturels analogues à ceux que les habitants du crétacé auraient pu fréquenter. Ils ont visiblement dépensé sans compter.

Prehistoric Planet, sur Apple +, environ 40 minutes par épisode

REGARDER

Un Québec forgé par la science

La science est à la base de bien des révolutions et la série *La fabuleuse histoire des sciences au Québec* revient sur les moments pivots de notre société. À chaque épisode sa décennie : cela commence à partir des années 1920, marquées par la fondation de l'Acfas ; les années 1930 abordent la création de l'Institut de microbiologie et d'hygiène de Montréal (aujourd'hui le Centre Armand-Frappier Santé Biotechnologie de l'Institut national de la recherche scientifique), tandis que la vision de l'écosystème avancée par Pierre Dansereau donne le ton aux années 1950. La naissance du magazine *Québec Science* (allô !), la psychiatrie et les grands enjeux sociologiques liés à l'orientation et l'identité sexuelles sont autant d'occasions pour les experts invités de raconter tout le chemin parcouru et celui que nous sommes en train de tracer.

La fabuleuse histoire des sciences au Québec, à Savoir média, dès le 14 septembre à 22h, 15 minutes par épisode

IMAGE : APPLE+

ÉCOUTER

Arc-en-ciel en éducation

Si le balado *Les voix multiples* explore la réalité des personnes LGBTQ2+ dans le milieu universitaire, la curiosité des personnes hétérosexuelles cisgenres sera très certainement piquée par les enjeux abordés dans cette série conçue par l'Institut national de la recherche scientifique. Les témoignages et expériences que partagent les six invités révèlent l'importance de l'accès à un réseau accueillant pour faciliter l'inclusion et l'affirmation de soi afin que chacun puisse se sentir en sécurité et trouver sa place. Les termes et défis qui pourraient être restés dans l'angle mort des hautes instances sont expliqués avec doigté, le ton est bienveillant et les organisations à l'écoute y trouveront amplement matière à réflexion pour s'assurer de mettre en place les ressources nécessaires à l'épanouissement professionnel et personnel de leurs ouailles.

Les voix multiples, à télécharger sur votre plateforme de balados préférée

La forêt au bout des doigts

Qu'elle soit urbaine ou ancienne, la forêt promet de révéler quelques-uns de ses mystères au cours d'une prochaine balade grâce à l'application mobile Arborescence. Conçu d'abord pour le réseau collégial et mû par une mission pédagogique, l'outil profite maintenant au grand public fasciné par la botanique. Ses clés d'identification faciles d'utilisation permettent de mettre un petit nom sur plusieurs spécimens de la flore québécoise. Les fiches explicatives aident à se familiariser avec le vocabulaire et offrent même quelques précieux secrets d'initiés pour parvenir, par exemple, à distinguer notre cher érable à sucre de l'érable de Norvège.

Arborescence, disponible sur votre plateforme de téléchargement préférée

LIRE

Question de temps

De quoi sera fait le monde dans 20 ans ? Les spéculations abondent. Une chose est certaine : la température du thermomètre global grimpe. Dans son essai *L'illusion carboneutre : quel temps fera-t-il vraiment après 2050 ?*, le professeur émérite de l'Institut national de la recherche scientifique Gaëtan Lafrance se penche sur cette chose mouvante qu'est l'évolution du climat, dont les modèles brossent un tableau incomplet, faute de données. Le spécialiste en prévision énergétique et analyse des comportements des consommateurs décortique ces modèles avec lucidité. Il pose également des questions brûlantes d'actualité quant à la transition énergétique à effectuer ainsi qu'aux choix collectifs que nous devrons faire. Sans être utopiste, la vision du futur de l'auteur est lumineuse et optimiste… tant qu'on opère des changements radicaux ensemble et maintenant.

L'illusion carboneutre : quel temps fera-t-il vraiment après 2050 ?, par Gaëtan Lafrance, Éditions MultiMondes, 236 p.

LIRE

Les couleurs du corail

Les récifs coralliens ne sont qu'une goutte dans toute la superficie océanique : ils occupent moins de 0,1 % des fonds marins. La science n'en a pas moins à raconter sur ces riches écosystèmes, comme en témoigne le livre *Étonnants récifs*, dirigé par la biologiste française Laetitia Hédouin. Composé de 80 courts textes nourris par les recherches scientifiques que mène depuis 50 ans le Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement, l'ouvrage permet une immersion complète dans ces réservoirs de biodiversité. Ses explications brèves, mais assez détaillées, en font un imposant tour d'horizon. Il aborde la formation et le fonctionnement des récifs et réserve des articles denses sur la bioérosion récifale et les défis rencontrés par les larves de coraux. Un beau, très beau programme enrichi de magnifiques photos.

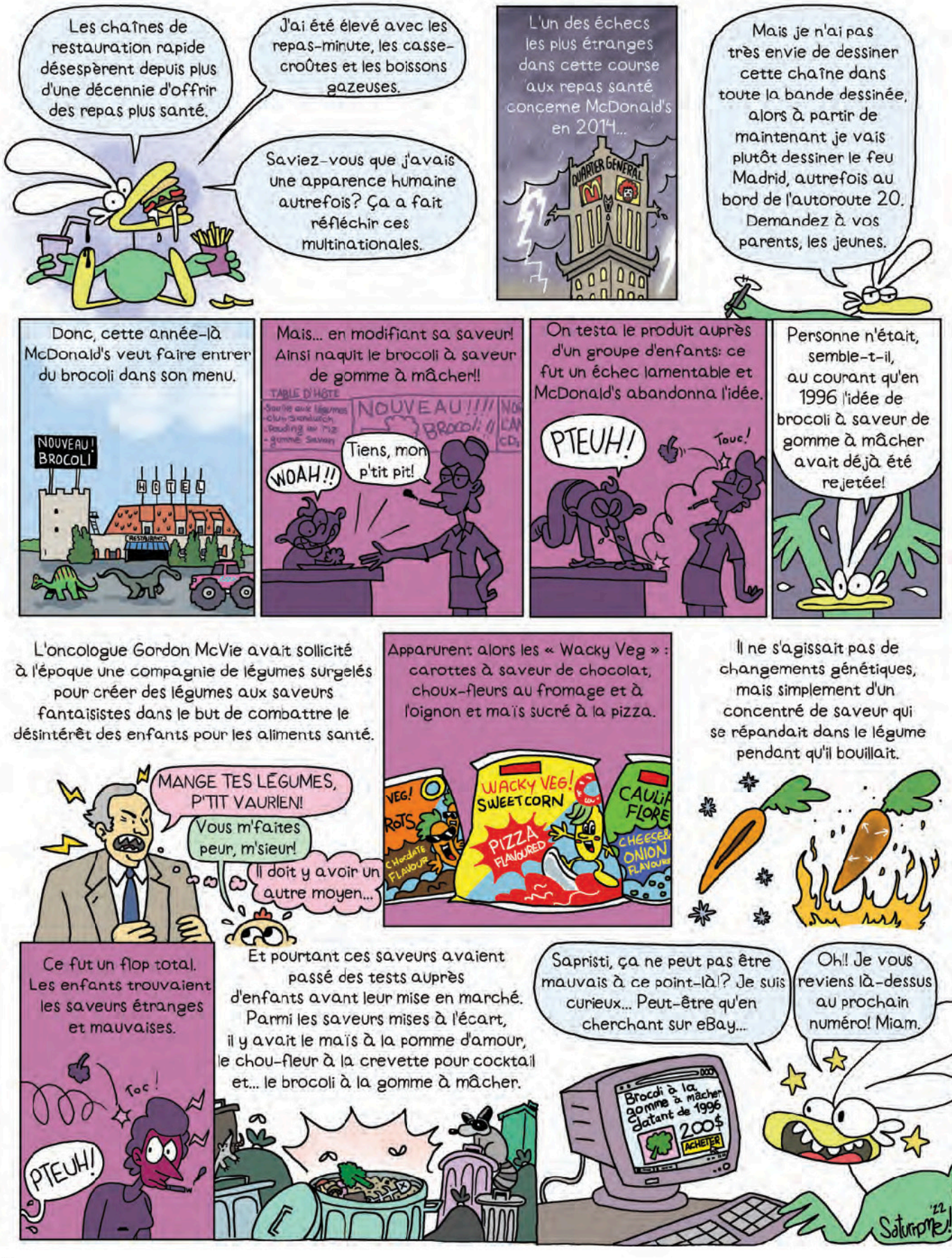
Étonnants récifs, sous la direction de Laetitia Hédouin, CNRS Éditions, 304 p.

Nom d'une pipe !

Vous mourez d'envie de savoir s'il y a vraiment trois rivières à Trois-Rivières, d'où vient le gentilé des habitants d'Havre-Saint-Pierre (les Cayens) et pourquoi la rivière Nahanni est surnommée la « mangeuse d'hommes » ? *Ce que cache le nom des lieux* est décidément pour vous. Dans son livre fouillé et saupoudré de fines touches d'humour, le géographe et professeur de l'Université Laval Henri Dorion offre une escapade toponymique à la découverte de l'origine de noms de maints lacs et rivières, de montagnes, de villes et d'endroits plus ou moins connus d'ici et d'ailleurs. Ses chapitres courts foisonnent d'anecdotes et fourniront amplement de quoi alimenter la conversation lors d'un *road trip* sur les routes secondaires du Québec.

Ce que cache le nom des lieux, par Henri Dorion, Éditions MultiMondes, 328 p.

IMAGES : SHUTTERSTOCK.COM


Les chaînes de restauration rapide désespèrent depuis plus d'une décennie d'offrir des repas plus santé.
J'ai été élevé avec les repas-minute, les casse-croûtes et les boissons gazeuses.
Saviez-vous que j'avais une apparence humaine autrefois? Ça a fait réfléchir ces multinationales.
L'un des échecs les plus étranges dans cette course aux repas santé concerne McDonald's en 2014...
QUARTIER GÉNÉRAL
Mais je n'ai pas très envie de dessiner cette chaîne dans toute la bande dessinée, alors à partir de maintenant je vais plutôt dessiner le feu Madrid, autrefois au bord de l'autoroute 20. Demandez à vos parents, les jeunes.
Donc, cette année-là McDonald's veut faire entrer du brocoli dans son menu.
NOUVEAU! BROCOLI
HOTEL
RESTAURANT
Mais... en modifiant sa saveur! Ainsi naquit le brocoli à saveur de gomme à mâcher!!
TABLE D'HÔTE
NOUVEAU!!!!
Brocoli!!
WOAH!!
Tiens, mon p'tit pit!
On testa le produit auprès d'un groupe d'enfants: ce fut un échec lamentable et McDonald's abandonna l'idée.
PTEUH!
Touc!
Personne n'était, semble-t-il, au courant qu'en 1996 l'idée de brocoli à saveur de gomme à mâcher avait déjà été rejetée!
L'oncologue Gordon McVie avait sollicité à l'époque une compagnie de légumes surgelés pour créer des légumes aux saveurs fantaisistes dans le but de combattre le désintérêt des enfants pour les aliments santé.
MANGE TES LÉGUMES, P'TIT VAURIEN!
Vous m'faites peur, m'sieur!
Il doit y avoir un autre moyen...
Apparurent alors les « Wacky Veg » : carottes à saveur de chocolat, choux-fleurs au fromage et à l'oignon et maïs sucré à la pizza.
WACKY VEG! SWEETCORN
PIZZA FLAVOURED
CHOCOLATE FLAVOUR
CHEESE & ONION FLAVOUR
Il ne s'agissait pas de changements génétiques, mais simplement d'un concentré de saveur qui se répandait dans le légume pendant qu'il bouillait.
Ce fut un flop total. Les enfants trouvaient les saveurs étranges et mauvaises.
Toc!
PTEUH!
Et pourtant ces saveurs avaient passé des tests auprès d'enfants avant leur mise en marché. Parmi les saveurs mises à l'écart, il y avait le maïs à la pomme d'amour, le chou-fleur à la crevette pour cocktail et... le brocoli à la gomme à mâcher.
Sapristi, ça ne peut pas être mauvais à ce point-là!? Je suis curieux... Peut-être qu'en cherchant sur eBay...
Brocoli à la gomme à mâcher datant de 1996
200$
ACHETER
Oh!! Je vous reviens là-dessus au prochain numéro! Miam.
Saturnome '22

Québec Science rayonne depuis 60 ans !

Abonnez-vous maintenant et économisez jusqu'à **51 %**.

ABONNEMENT

41 $ 1 AN + taxes

68 $ + taxes 2 ANS
94 $ + taxes 3 ANS

Aussi disponible en version numérique.

Abonnez-vous!

quebecscience.qc.ca

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

QUÉBEC SCIENCE
L'heure est à la science

Incontournables

Portes ouvertes

Samedi 22 octobre 2022

portesouvertes.uqam.ca

UQÀM