

De la visite rare  
dans le Saint-Laurent

Pénuries de médicaments :  
attelez-vous!

MARS 2023

# QUÉBEC SCIENCE

AVEZ-VOUS DIT  
**PARENTALITÉ  
POSITIVE ?**



**QUE DIT LA SCIENCE**

**DE LA TENDANCE ÉDUCATIVE**

**DU MOMENT ?**



# Pour pousser vos recherches, poussez nos portes

Ici, les activités de recherche augmentent à la vitesse grand V et les percées scientifiques ne cessent de se multiplier. Nous avons l'audace de tout mettre en place pour demeurer parmi les universités de recherche les plus prolifiques au pays.

[USherbrooke.ca](https://www.usherbrooke.ca/recherche)  
/recherche

**UDS** Université de  
Sherbrooke

# SOMMAIRE

MARS 2023

QUÉBEC SCIENCE

EN COUVERTURE



## Parentalité positive : une recette pas si parfaite ?

P. 16

La paix est loin de régner en maître sur le monde en plein essor de la « parentalité positive ». Les débats font rage sur les pratiques à adopter avec les petits. La science peut-elle trancher ?

### REPORTAGES

## 24 Un étrange visiteur dans le Saint-Laurent

Des poissons-lunes en cavale se retrouvent parfois dans le Saint-Laurent. Qui sont-ils ?

## 36 Attention fragile

Le quart des médicaments en vente au pays ont subi des ruptures d'approvisionnement dans les dernières années. Que se passe-t-il ?

## 42 Jouer avec le feu

Visite au Syracuse Lava Project, une fusion inédite entre l'art et la science.

## 48 Dans l'œil du NIRISS

L'instrument NIRISS, embarqué à bord du télescope *James-Webb*, donnera-t-il un nouveau souffle à la recherche de vie extraterrestre ?



P. 6

### SUR LE VIF

## 6 Cabinet des curiosités

Qu'ils soient poussiéreux, colorés ou de glace, les anneaux des planètes subjuguent l'humain depuis des siècles.

## 8 Pêcheur : le plus vieux métier du monde ?

Une équipe de scientifiques a fait reculer de 610 000 ans la preuve de la première cuisson d'aliments.

## 10 Dans la tête des ados autistes

Qu'est-ce qui préoccupe les adolescents autistes ? Une équipe de recherche leur a donné la parole.

## 11 La machine à danser

Une étude montre qu'on danse plus énergiquement au son des basses fréquences même lorsqu'on ne les entend pas !

## 12 Pour une santé mondiale équitable

Madhukar Pai, spécialiste de la tuberculose, a fait de la justice sociale en santé son cheval de bataille.



P. 24

## 4 Édito par Mélissa Guillemette Un beau parleur



## 5 Babillard

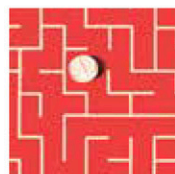
9 Carnet de santé Par la D<sup>re</sup> Alexandra S. Arbour

11 Technopop Par Gabrielle Ancill

54 Culture Par Émilie Folie-Boivin

57 Anthropocène Par Jean-Patrick Toussaint

58 Rétroviseur Par Saturnome



P. 36

## 27 Contenu commandité

## Polytechnique Montréal à 150 ans

Coup d'œil sur un établissement à l'écoute des besoins de la société depuis 1873





MÉLISSA GUILLEMETTE  @mguillemett

## ÉDITORIAL

# Un beau parleur

**J'**ai demandé à ChatGPT d'écrire un poème sur la parentalité bienveillante, en écho au dossier de notre numéro. Il s'agit de cet agent conversationnel mis au point par la firme californienne OpenAI et disponible depuis novembre. Sans être un bijou de littérature, le résultat de ma requête tient la route, vous pourrez en juger sur notre site Web.

En plus des poèmes, l'outil a montré qu'il peut rédiger des travaux scolaires, des programmes sportifs et résumer des théories complexes. Mais saurait-il produire un article scientifique? C'est déjà fait.

Huit jours après le lancement de ChatGPT, une équipe espagnole lui demandait d'en écrire un sur le rôle de l'intelligence artificielle dans la découverte de médicaments, déposé dans arXiv. Les scientifiques ont fourni le sujet, les sections et les informations à inclure pour chacune d'elles. Au final, le groupe a pratiquement tout réécrit : les passages conservés représentent 4,3 % de la production.

Une équipe américaine lui a ensuite fait rédiger 50 résumés (*abstracts*) d'études en sciences biomédicales. Il a réussi à tromper des scientifiques qui devaient discerner les vrais et les faux résumés, mais pas la majorité du temps : dans 68 % des cas, on repérait son écriture à la recette qu'il semblait appliquer. Aurait-ce été différent si les scientifiques n'avaient pas été informés de la possibilité qu'un robot ait écrit ces résumés?

Puis, quelques groupes de recherche ont carrément reconnu ChatGPT comme coauteur, à côté des noms des véritables chercheuses et chercheurs ayant mené les travaux en question.

Des coups d'éclat, voire de marketing? Probablement. Les capacités du système sont si limitées pour le moment que ce serait comme qualifier Antidote ou Excel d'auteur. L'outil a beau faire beaucoup de bruit, il est à l'heure actuelle surtout divertissant. Un poème, ça vous dit?

### HALLUCINATIONS

ChatGPT est ce qu'on appelle un grand modèle de langage. Les lettres *GPT* viennent des mots Generative Pre-trained Transformer (ou transformateur génératif préentraîné). En somme, il s'est nourri d'un grand volume de textes accessibles en ligne et s'en inspire désormais pour répondre aux requêtes en utilisant des méthodes statistiques. Il a été « entraîné » par des humains et a aussi appris par lui-même à force de donner de bonnes et de mauvaises réponses.

Ou alors il invente. ChatGPT ressemble en bien des points à la fonction de nos cellulaires qui suggère des mots à partir des premières lettres tapées au clavier. Quand il invente des faits, on dit qu'il « hallucine » dans le jargon du domaine.

Les internautes s'en donnent d'ailleurs à cœur joie depuis sa mise en ligne : les réseaux sociaux pullulent d'inepties que le robot conversationnel a pu rédiger. À ce Français qui lui demandait comment différencier les œufs de poule des œufs de vache, il a répondu que ceux des vaches étaient plus gros et avaient un goût plus prononcé! Voilà qui semble incompatible avec la rigueur attendue en science.

Et il faut aussi savoir que ChatGPT, pour le moment, vit dans le passé. Il a été entraîné sur le Web d'avant septembre 2021. Posez-lui une question

sur un enjeu d'actualité, il ne saura pas vous répondre. Par exemple, je lui ai demandé quel fait avait marqué le 24 février 2022 en Ukraine. Au lieu de nommer l'invasion russe, il a plutôt parlé de manifestations à la suite de « la décision du président Volodymyr Zelensky de mettre fin à l'accord de libre-échange avec l'Union européenne ». Une affirmation sans fondement, mais qui a l'air crédible, et c'est bien là le danger. ChatGPT n'a pas appris à douter. Il ne sait pas plus demander des précisions à l'utilisateur ou l'utilisateur quand une requête est imprécise. Il tente plutôt de deviner l'intention. OpenAI indique que, si on le rendait plus prudent, il cesserait de répondre à certaines questions pour lesquelles il a pourtant la bonne réponse. Si ChatGPT était un scientifique, on le qualifierait de toxique!

ChatGPT, tout comme les autres systèmes du genre, va s'améliorer. Les grands éditeurs n'ont tout de même pas attendu avant de prendre position. *Nature* et *Science* ont interdit de désigner ChatGPT comme auteur. Il peut être utilisé en recherche, mais sa contribution doit être mentionnée dans la section sur la méthodologie. Comme a dit Holden Thorp, rédacteur en chef des journaux du groupe Science, sur Twitter : « La dernière chose dont nous avons besoin, c'est d'un désengagement des individus et d'une responsabilité réduite en science. » ●

**Pour lire le poème de ChatGPT sur la parentalité bienveillante :**

[www.quebecscience.qc.ca/edito/chatgpt](http://www.quebecscience.qc.ca/edito/chatgpt)

## MARS 2023

Volume 61, numéro 6

### Rédactrice en chef

Mélissa Guillemette

### Rédactrice en chef adjointe

Marine Corniou

### Journalistes

Raphaëlle Derome, Annie Labrecque

### Collaborateurs

Gabrielle Ancitil, Maxime Bilodeau, Chloé Bourquin, Nancy Caouette, Émilie Folie-Boivin, Sabrina Myre, Étienne Plamondon Emond, Charles Prémont, Saturnome, Jean-Pierre Sylvestre, Jean-Patrick Toussaint

### Correctrices-réviseuses

Sophie Cazanave, Christine Dumazet, Fleur Neesham

### Directrice artistique

Sophie Benmouyal

### Photographes/illustrateurs

Louise Bilodeau, Dominique Lafond, Nicole Aline Legault, Maxim Morin, Christine Muschi, Sébastien Thibault

### Éditeur

Jean-François Rheault

### Vice-présidente marketing, communications et partenariats

Marie-Hélène Juneau

### Comptabilité

Mimi Bensaïd

### Chargée de projets, communications marketing

Marie-Hélène Juneau

### Conseillère, relations de presse et marketing

Stéphanie Couillard

### Directeur de la croissance numérique

Patrice Bray

### 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 : 23 mars 2023 (584<sup>e</sup> numéro)

### Abonnement

Canada, 1 an : 43 \$ + taxes

États-Unis, 1 an : 82 \$

Outre-mer, 1 an : 128 \$

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 2023 - 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, de l'Innovation et de l'Énergie 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



Vos enfants méritent le prix du cri le plus aigu ou celui de la pire bêtise de l'année? Pas toujours facile de garder son calme, même si les adeptes de la parentalité positive nous invitent à respirer et à parler « émotion » avec notre progéniture. Pour illustrer ce reportage qui remet les pendules à l'heure quant aux conséquences réelles des punitions et autres châtiments, j'ai décidé d'aborder le sujet avec humour et d'offrir à des enfants de notre entourage (dont les miens!) la possibilité de faire de grosses bêtises... sans recevoir la moindre réprimande! C'est avec les yeux pleins d'étoiles à l'idée de découper aux ciseaux une poupée de plastique que les enfants se sont prêtés au jeu. Merci à la photographe Dominique Lafond, qui a donné vie à nos mises en scène. Le choix des photos s'est avéré bien difficile tant nos modèles y ont mis du cœur.

– SOPHIE BENMOUYAL,  
DIRECTRICE ARTISTIQUE

## COURRIER

### Une couche de complexité

Le dernier numéro m'a titillée, avec l'article sur le lavage et de nombreux faits méconnus pour moi. Après la lecture, je me questionne sur ce qui est environnementalement acceptable pour une future maman : acheter des couches de coton lavables et réutilisables ou des couches jetables qui se décomposeront une fois enfouies? Votre article me fait douter de mon choix instinctif : les couches lavables. Je suis perplexe et une réflexion plus approfondie s'imposera pour moi.

Merci et continuez votre beau travail.

– SYLVIE DESPATIE

Félicitations pour le bébé qui vient!

Une analyse de cycle de vie réalisée au Royaume-Uni en 2008 a montré que la réponse à cette question dépend justement de la façon dont on lave les couches... Notre journaliste Annie Labrecque a concocté ceci pour vous : [www.quebecscience.qc.ca/environnement/couches](http://www.quebecscience.qc.ca/environnement/couches).



### Contamination politique

L'article « Mettre en lumière l'histoire des musulmans du Canada » (janvier-février 2023) contient peu de choses pouvant mener à une meilleure connaissance des aspects scientifiques de l'histoire des musulmans au Canada. Il comporte plutôt de nombreux passages à forte saveur idéologique. Par exemple, la citation de Patrice Brodeur sur la décolonisation donne à penser que le projet est teinté de politique, en l'occurrence la doctrine du multiculturalisme canadien, au détriment de science sociologique ou historique.

– MARCEL FRÉCHETTE

## ERRATUM

Dans le numéro de janvier-février 2023, une erreur s'est glissée dans l'article « Bonne année du mil! ». L'Inde ne produit pas 12,5 tonnes de mil par année, mais bien 12,5 millions de tonnes, comme vous êtes plusieurs à nous l'avoir fait remarquer. Merci pour votre vigilance!

### Abonnez-vous

[www.quebecscience.qc.ca/abonnez-vous](http://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](mailto:serviceclient@velo.qc.ca)

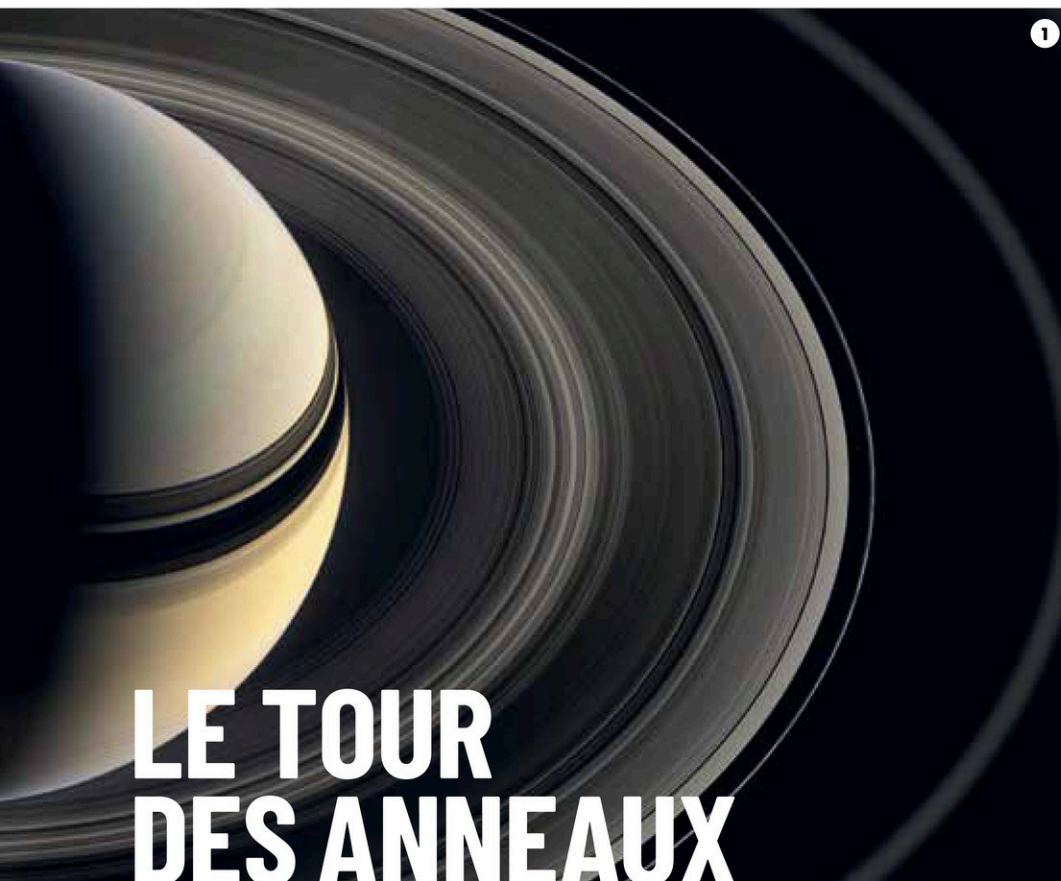
### Écrivez-nous

[courrier@quebecscience.qc.ca](mailto:courrier@quebecscience.qc.ca)  
Magazine Québec Science  
1251, rue Rachel Est  
Montréal (QC) H2J 2J9

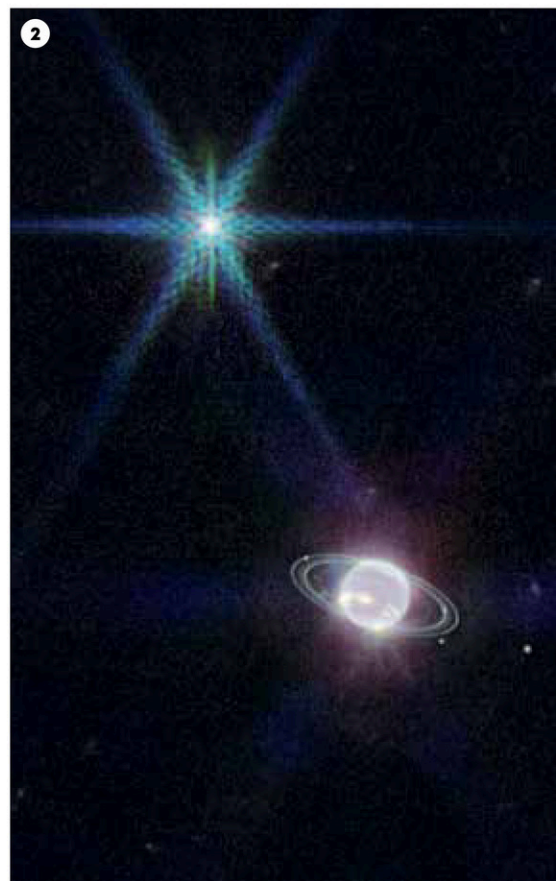
### Suivez-nous

[www.quebecscience.qc.ca](http://www.quebecscience.qc.ca)





# LE TOUR DES ANNEAUX



Qu'ils soient poussiéreux, colorés ou de glace, les anneaux des planètes subjuguent l'humain depuis des siècles. Et bien que la recherche ait permis de percer certains de leurs secrets, d'impénétrables mystères les entourent toujours.

Par Nancy Caouette

**S**itôt les mots *anneau* et *planète* prononcés, la majestueuse image de Saturne s'impose à l'esprit. Et pourtant, cette planète est loin d'être le seul astre du système solaire à être auréolé. Jupiter, Neptune et Uranus ont elles aussi des cerceaux, certes plus discrets et difficiles à observer de la Terre. Et il y a aussi ceux, soupçonnés ou avérés, d'objets célestes, dont l'anneau de la planète naine Hauméa, découvert par une équipe internationale de chercheurs dont Bruno Sicardy, astrophysicien à l'Observatoire de Paris, fait partie.

Ce professeur de Sorbonne Université a aussi découvert les anneaux de l'astéroïde Chariklo en 2013. « Nous nous sommes dit qu'il devait y en avoir beaucoup d'autres dans le système solaire. Cela nous a motivés à poursuivre nos

recherches », raconte le chercheur, qui a contribué à révéler les anneaux de Neptune en 1984.

Et il a vu juste. Tout récemment, Bruno Sicardy et ses collègues ont mis au jour des anneaux autour de Quaoar, un objet massif de la ceinture de Kuiper qui pourrait être une planète naine.

Ce type de découverte se fait en « constatant de brèves disparitions des étoiles lorsqu'elles passent proches de l'astre observé, ce qui laisse penser qu'elles se trouvent alors derrière un anneau, explique Bruno Sicardy. Si l'on multiplie ces observations, on arrive à reconstituer la largeur et la forme de ces anneaux. C'est un peu comme un *scan* ».

De quoi sont faits les anneaux de Quaoar? Pour le savoir, il faudra aller voir. C'est d'ailleurs grâce à une visite rapprochée que l'on connaît mieux les

attributs de Saturne : la sonde *Cassini* a tourné 13 ans autour de la planète, accumulant les informations. « On sait maintenant que 95 % des particules qui composent les anneaux de Saturne sont de la glace d'eau. Pour les autres planètes, la composition n'est pas claire. Ils sont beaucoup plus sombres et poussiéreux que ceux de Saturne », souligne le chercheur.

Le nouveau télescope spatial *James-Webb*, qui étend les possibilités d'observation dans l'infrarouge, pourrait apporter certaines réponses. « Les glaces qui composent les sombres anneaux d'Uranus pourraient être du monoxyde de carbone ou du méthane par exemple, des éléments qui ont des bandes d'absorption dans l'infrarouge et que *James-Webb* a donc le potentiel de détecter », dit Bruno Sicardy. La NASA

3

4

5

prévoit par ailleurs une mission sur Uranus d'ici 2049, mais un groupe de scientifiques a recommandé à l'agence de faire de cette mission une priorité.

Ce type d'exploration permettrait aussi de mieux saisir l'origine des anneaux, selon Nathalie Ouellette, astrophysicienne et chargée des communications pour *James-Webb* au Canada. « On pense que Saturne n'avait pas d'anneaux lorsqu'elle s'est formée, il y a des milliards d'années. Ses anneaux seraient apparus il y a des centaines de milliers d'années. On aimerait mieux comprendre leur formation », dit-elle.

Bruno Sicardy renchérit : « Les anneaux sont des laboratoires naturels dans lesquels peuvent se former des satellites. Leur étude nous renseigne sur le processus d'accrétion, c'est-à-dire sur la façon dont un disque de particules en collision arrive à se transformer en satellite. Ce processus qui permet de créer des satellites peut aussi nous renseigner sur la création de planètes ou d'exoplanètes. »

Plusieurs scientifiques croient même que les anneaux de Saturne pourraient s'agréger en satellites et disparaître dans des milliers d'années, tandis que Mars pourrait acquérir des anneaux par la destruction de sa lune, Phobos. Bien que

ces hypothèses soient plausibles, Bruno Sicardy précise que seul l'avenir très (très) lointain pourra les confirmer ou les infirmer. « Ça demeure des hypothèses, car rien n'est jamais certain en science », déclare-t-il.

La preuve : la découverte des anneaux de Quaoar vient jeter un doute sur « la limite de Roche », une distance en deçà de laquelle un satellite commencerait à se disloquer sous l'action des forces d'attraction. « C'est un principe élémentaire utilisé depuis plusieurs siècles en astronomie, indique le chercheur. La règle, en somme, est que tout matériau à l'intérieur de la limite de Roche se brise et devient un anneau. Et tout matériau à l'extérieur de la limite de Roche va s'accréter sous forme de satellite. Or, nous n'observons pas cela avec Quaoar, ce qui démontre que la nature a beaucoup plus d'imagination que nous ! »

N'empêche, les avancées technologiques permettent de toujours mieux comprendre l'Univers. Le télescope *James-Webb* doit d'ailleurs bientôt transmettre des informations sur Uranus, ses satellites et ses anneaux. Quand ? « Nous ne sommes pas dans le secret des dieux ! se contente de répondre en riant Nathalie Ouellette. Mais nous espérons pouvoir en retirer de belles images ! » ●



1 Les anneaux de Saturne s'étendent jusqu'à une distance de 282 000 km de la planète, mais ils font seulement 10 m de haut.

2 « C'est mon image préférée de *James-Webb*, lance l'astrophysicienne Nathalie Ouellette. J'ai toujours eu un faible pour la planète Neptune, car, tout comme sa sœur Uranus, elle a beaucoup été négligée en termes d'exploration robotique. De la voir avec ses anneaux et ses satellites, c'est comme un portrait de famille ! »

3 En 2017, des astronomes ont découvert un anneau autour de la planète naine Hauméa. L'anneau mesure environ 70 km de large et se trouve à 2287 km de l'astre (vue d'artiste).

4 Une vue du télescope spatial *Hubble* révèle Uranus entourée de ses 4 principaux anneaux (sur un total de 13).

5 Vue d'artiste en gros plan des anneaux autour de Chariklo, un astéroïde du système solaire.

# Pêcheur, le plus vieux métier du monde ?

Une équipe de scientifiques a fait reculer de 610 000 ans la preuve de la première cuisson d'aliments grâce à des dents de poissons trouvées en Israël.

Par Charles Prémont



Crâne d'une carpe moderne

Celles et ceux qui manient la canne à pêche vous le diront : peu de repas sont aussi satisfaisants qu'un bon *shore lunch*. Après s'être levé aux aurores pour taquiner la truite, se reposer près d'un feu qui crépite et réchauffe, en savourant la chair subtilement grillée de sa prise, ouvre un espace hors du temps.

Ce plaisir si particulier est peut-être ancré dans notre imaginaire depuis plus longtemps qu'on le croyait. Une équipe multidisciplinaire de chercheurs d'Israël, d'Angleterre et d'Allemagne a trouvé des traces de cuisson d'aliments remontant à 780 000 ans sur le site de Gesher Benot Ya'akov en Israël. On sait par ailleurs que ce site, fouillé depuis les années 1930, a probablement été occupé par *Homo erectus* – on y a découvert des outils et des traces de foyers. Voilà qui fait reculer de façon spectaculaire les débuts de la « cuisine », puisque la confirmation précédente de la cuisson d'un aliment n'avait « que » 170 000 ans.

Savoir à partir de quelle époque les hominins ont fait cuire leurs aliments est important, car la nourriture cuite est plus facile à mastiquer, plus digeste et plus sécuritaire. L'économie

d'énergie liée à la cuisson des aliments aurait ainsi orienté l'évolution du genre *Homo*.

## DES DENTS QUI PARLENT

Il faisait peu de doute que l'acte de cuire des aliments remontait à plus de 170 000 ans, mais les scientifiques n'en possédaient jusqu'à maintenant que des preuves indirectes comme des traces de feux maîtrisés (qui peuvent servir à autre chose que la cuisson) ou des os brûlés (pouvant simplement avoir été jetés dans les flammes).

C'est grâce à des dents pharyngiennes – des sortes de plaques situées dans la gorge – de poissons apparentés à la famille des carpes que l'équipe a pu démontrer que les bêtes auxquelles elles avaient appartenu ont bel et bien été cuites. Comme le site est attenant à un lac, les chercheurs ont trouvé des restes de poissons à plusieurs endroits. La plupart présentaient des ossements de tous types et de toutes tailles de poissons, ce qui laisse présager une mort naturelle. « Mais dans un autre emplacement, on voit clairement qu'il y a eu une sélection, avec une préférence pour ces grosses "carpes" », explique Marion Prévost, chercheuse à l'Institut d'archéologie de l'Université hébraïque de Jérusalem. Une zone contenant surtout des dents (et pas d'arêtes) a mis la puce à l'oreille des chercheurs : une fois cuites, les arêtes se désagrègent plus facilement, mais les dents, plus solides, auraient pu résister.

Dans ce quadrilatère, les chercheurs se sont aperçus que les dents pharyngiennes avaient en outre une couleur particulière. L'équipe a donc voulu étudier les cristaux formant l'émail de ces dents qui, sous la chaleur, prennent de l'expansion. « Nous cherchions à établir deux choses, indique Irit Zohar, chercheuse au Steinhardt Museum of Natural History (lié à l'Université de Tel-Aviv) et auteure principale de l'article, publié dans la revue *Nature Ecology and Evolution*. D'abord, ce qu'il advient des cristaux de l'émail à travers le temps : grossissent-ils naturellement ou non ? Ensuite, s'il se produit des changements dus au fait de les chauffer, mais non de les brûler. Parce que lorsque les dents ont été brûlées, c'est très facile de le voir. »

Grâce à une méthode innovante tirant avantage de la diffraction des rayons X, l'équipe a pu constater l'effet de la chaleur sur les dents pharyngiennes de carpes contemporaines et les comparer avec ce qui était survenu des dents des poissons anciens. L'expérimentation lui a permis de conclure que les températures auxquelles avaient



été soumises les différentes dents préhistoriques oscillaient entre 200 et 500 degrés Celsius, ce qui concorde avec une température de cuisson. Ces dents ne montraient pas de traces de brûlures, ce qui éliminait la possibilité qu'elles aient été simplement jetées au feu.

« C'est une très belle démonstration, soutient Julien Riel-Salvatore, professeur au Département d'anthropologie de l'Université de Montréal, qui n'a pas participé à cette étude. Il y a vraiment une convergence presque parfaite des indices attestant qu'on est en présence de quelque chose de contrôlé qui visait à chauffer jusqu'à un certain point la chair de ces poissons. La conclusion de l'équipe me semble tout à fait crédible. »

Pour Marion Prévost, l'utilisation de cette technique d'enquête est prometteuse. « C'est une méthodologie qui permet d'apporter des preuves directes de la cuisson », dit-elle. Aussi, ces dents de poissons auront désormais un intérêt particulier; une petite quantité de tels vestiges pourrait révéler bien des secrets.

Les poissons ont probablement joué un rôle essentiel dans le passé du genre *Homo*. Mais comme leurs restes supportent mal le passage du temps, ils n'ont pas réussi à faire leur place dans notre imaginaire de la préhistoire. Pourtant, l'exploitation des poissons a sûrement eu une très grande importance pour les premiers humains, selon Irit Zohar. Dans son article, elle pointe le fait que de nombreux sites archéologiques majeurs sont situés à des endroits où l'on trouvait des sources d'eau. « Ce serait un peu étrange de penser que nos ancêtres utilisaient toutes les ressources à leur disposition, mais pas les poissons », fait-elle remarquer. Certains spécialistes croient que les poissons sont probablement exploités depuis très longtemps, possiblement depuis plus d'un million d'années. Et ce n'est pas une histoire de pêche! ●

## Le don de soi

Vous souvenez-vous du dilemme que je vous soumettais dans cette même chronique en septembre dernier? Il se posait ainsi : que souhaiteriez-vous si l'on vous hospitalisait pour un problème X alors que vous êtes malade et à un âge avancé et que votre cœur s'arrêtait?

Pour alimenter votre réflexion, je vous avais décrit ce qui se passe lors d'une réanimation cardiorespiratoire (RCR). Je conclusais en évoquant que je serais moi-même plutôt réticente à ce qu'on déclenche une telle procédure si les chances de m'en sortir sans séquelles étaient faibles.

Vous avez été si nombreux et nombreuses à me transmettre vos commentaires que j'ai eu envie de faire une suite... Mon collègue spécialiste des soins intensifs, le D<sup>r</sup> Marc Brosseau, ne pouvait tomber mieux quand il m'a accostée dans le corridor de notre hôpital : « Faut que je te parle de ta chronique sur la belle mort! » S'en est suivie une discussion fort intéressante qui m'a fait voir quelques nuances.

Il faut savoir que mon confrère est aussi médecin coordonnateur chez Transplant Québec, un organisme qui chapeaute le processus du don d'organe dans la province depuis 50 ans.

Le D<sup>r</sup> Brosseau est en partie d'accord avec moi : quand on est très âgé ou qu'on est atteint d'une maladie grave comme un cancer métastatique, le concept de « futilité des soins » s'applique. La RCR risque alors de n'apporter aucun avantage, mais au contraire, dans certains cas, de causer des souffrances indues. Offrir un lit de soins intensifs à quelqu'un qu'on sait condamné est aussi une utilisation discutable des ressources précieuses et limitées de notre système de santé.

Mais attention ! Selon le D<sup>r</sup> Brosseau, il ne faudrait pas décourager les patients dont la santé est relativement bonne de faire le pari de la RCR ou des soins intensifs, surtout s'ils sont favorables au don d'organe.

L'Association canadienne des médecins d'urgence et la Société canadienne de soins intensifs se sont d'ailleurs prononcées sur le sujet en 2020. Une personne qui subit un dommage neurologique majeur après une réanimation cardiaque ou un accident vasculaire cérébral massif et dont le décès est

très probable pourrait tout de même bénéficier d'une période d'observation à l'unité de soins intensifs d'au moins 72 heures.

Pourquoi? Parce que, parfois, la réanimation fonctionne et certains patients peuvent rentrer chez eux sans ou avec peu de séquelles. En effet, des soins optimaux peuvent, à l'occasion, permettre au malade de s'en sortir, alors qu'on croyait l'issue fatale. Et dans le cas contraire, le don d'organe et de tissus (cornées, os, tendons...) pourra être envisagé en respectant les volontés du patient.

Qui peut donner ses organes au Québec? Le don survient souvent après un « décès neurologique » ou mort du cerveau : le patient n'a plus de réflexes ni la capacité de respirer par lui-même. La mort neurologique est légalement et médicalement reconnue comme le moment du décès. Plus rarement, une personne peut aussi faire un don après un « décès cardiocirculatoire » : cet état ne répond pas aux critères stricts de mort cérébrale, mais le patient est devenu dépendant de médicaments ou d'un respirateur pour vivre.

Il est également possible de donner ses organes après avoir reçu l'aide médicale à mourir. Et dans certains cas exceptionnels, on peut donner un organe de son vivant (un rein ou une partie de son foie par exemple).

Quelques chiffres en vrac... En 2021, au Québec, 144 dons de personnes décédées entre 50 et 70 ans ont permis de transplanter 505 organes. Un donneur d'organe peut sauver jusqu'à huit vies; un don de tissu peut aider 20 individus. Quand on sait qu'à peine un pour cent des personnes qui décèdent annuellement dans les hôpitaux répondent aux critères médicaux et légaux pour le don d'organe, il faut saisir toutes les occasions.

Reprenons la mise en situation du début, mais cette fois, vous êtes un peu plus jeune et moins malade. Vous allez à l'hôpital pour un problème X. Le médecin vous demande si vous voulez qu'on vous réanime si vous faites un arrêt cardiaque. Moi, j'ai changé ma réponse et signé l'autocollant signalant mon consentement pour le don d'organe sur ma carte d'assurance maladie. Et vous? ●

# Dans la tête des ados autistes



**Qu'est-ce qui préoccupe les adolescents autistes ? Une équipe de recherche leur a donné la parole.**

**Par Sabrina Myre**

Certaines personnes autistes ne parlent pas ou presque ; on les qualifie de « non verbales ». Pourtant, en montrant du doigt un pictogramme sur la table, l'un des participants à une étude menée par des scientifiques de l'Université McGill réussit à partager son désir d'avoir plus d'amis. Un autre utilise des émojis pour dire qu'il aimerait vivre en ville une fois adulte.

Le projet Autism Voices ouvre une porte sur ce type de pensées. Trente et un adolescents autistes de Montréal et d'Edmonton, âgés de 11 à 18 ans, verbaux ou non, ont pu s'exprimer sur leurs rêves et leurs inquiétudes. Ils se posent les mêmes questions que les autres jeunes : combien d'argent dois-je gagner pour habiter en appartement ? Comment faire pour décrocher un emploi ?

« Ces témoignages nous ont ouvert les yeux, soutient Mayada Elsabbagh, qui a supervisé les travaux. Parce qu'elles communiquent différemment, les chercheurs ont toujours supposé que les personnes autistes non verbales n'avaient pas la capacité de se projeter dans l'avenir. Cette idée était complètement fausse. »

Dans le passé, ces jeunes autistes ont souvent été exclus des recherches. « Ce manque d'inclusion de l'ensemble du spectre n'est pas conforme à la Convention relative aux droits de l'enfant des Nations unies, qui stipule que tous les enfants ont le droit de s'exprimer », peut-on lire dans cette étude publiée dans la revue savante *Autism* en novembre dernier.

## LE PARADOXE DE L'ÉCOLE

L'équipe scientifique a donc élaboré une méthode adaptée à tous les jeunes ayant un trouble du spectre de l'autisme. « Nous utilisons des cartes imagées pour structurer l'entrevue et les aider à faire des choix. Les participants ont démontré un grand intérêt », explique Valérie Courchesne, l'une des deux chercheuses postdoctorales qui ont conduit l'étude. Les adolescents peuvent répondre avec des mots, un geste, un texto ou même un dessin.

Les chercheuses ont ainsi découvert que l'école était le principal facteur de stress dans leur vie. « J'ai détesté l'école parce qu'on m'a traité comme un idiot », a confié un participant de 16 ans en épelant la phrase à l'aide d'un tableau

alphabétique. Le manque d'échanges positifs avec les enseignants et le grand nombre d'élèves par classe sont anxio-gènes pour plusieurs de ces jeunes.

Mais l'école est aussi l'un des seuls endroits où il leur est possible de lier des amitiés, si précieuses à l'adolescence. « C'est un grand paradoxe ! Comment rendre cet environnement plus positif pour eux ? Laisser la chance aux élèves autistes de s'exprimer pourrait permettre à la société de mieux répondre à leurs besoins », ajoute Valérie Courchesne.

L'équipe de l'Université McGill espère que ses résultats inspireront d'autres scientifiques. « Le grand intérêt de cette étude, ce sont les entrevues semi-dirigées à l'aide d'outils visuels combinées avec la vision selon laquelle il y a plusieurs manières de répondre aux questions », analyse Catherine des Rivières-Pigeon, directrice de l'Équipe de recherche pour l'inclusion sociale en autisme de l'Université du Québec à Montréal, qui n'a pas participé à ces travaux. Des études faisant appel à un plus grand nombre de participants seront nécessaires, selon elle, pour dresser un tableau global des préoccupations de ces jeunes. ●



# La machine à danser

Par Etienne Plamondon Emond



Lors d'un concert, la basse ou la grosse caisse battent la cadence. Mais l'effet de leurs « boum boum » graves va au-delà de la vibration des tympanes. Une étude publiée en novembre dans *Current Biology* a montré qu'on danse de manière plus énergique au son des basses fréquences... même lorsqu'on ne les entend pas!

L'expérience s'est déroulée au LIVElab, un lieu servant à la fois de salle de spectacle et de laboratoire à l'Université McMaster, en Ontario. Lors d'un concert du groupe de musique électronique Orphx, la moitié de l'auditoire portait sur la tête un bandeau muni d'un capteur dont le mouvement était traqué par des caméras infrarouges.

Pendant la prestation, les scientifiques allumaient des haut-parleurs supplémentaires pendant 2 min 30 s, avant de les éteindre durant le même intervalle de temps. Ces haut-parleurs atypiques émettaient les sons d'un synthétiseur quelques octaves plus bas, à des fréquences que l'oreille humaine ne pouvait entendre. Pourtant, quand ces appareils étaient en fonction, les sujets dansaient avec 12 % plus d'intensité!

Daniel Cameron, premier auteur de l'étude, mime avec le doigt le diagramme en dents de scie dessiné par les données récoltées au fil du concert. « Il y a vraiment une relation de cause à effet : on allume ces haut-parleurs et les gens bougent plus. On les éteint et ils bougent

moins », explique le postdoctorant du Département de psychologie, neurosciences et comportement de l'Université McMaster.

« C'est assez clair et convaincant », commente Robert Zatorre, professeur de neurosciences à l'Institut-hôpital neurologique de Montréal du Centre universitaire de santé McGill, qui n'a pas participé à l'étude. Selon lui, cette expérience prouve que les très basses fréquences modifient notre réponse à la musique. « Maintenant, les questions sont : comment ça fonctionne? Et pourquoi? »

Est-ce parce que ces ondes sonores sont détectées par les récepteurs tactiles de la peau? Ou parce qu'elles affectent notre système vestibulaire, responsable de l'équilibre? La vibration stimule-t-elle d'abord le système moteur ou le circuit de la récompense dans le cerveau? Autant de questions à éclaircir.

Simone Dalla Bella, professeur de psychologie à l'Université de Montréal, qui n'a pas non plus participé à l'étude, retient qu'un son inaudible peut influencer des comportements collectifs. « Les conséquences de cette conclusion sont importantes et vont au-delà de la musique. »

Daniel Cameron souhaite justement explorer la dynamique de groupe. « Peut-être que certaines personnes sont plus sensibles aux très basses fréquences et entraînent les autres », remarque celui qui est aussi batteur. Alors on danse? ●

## Le point de discorde

Êtes-vous prêt-e-s pour l'écriture inclusive? La féminisation se répand, qu'on le veuille ou non. Les manières de faire varient. Certaines personnes et organisations (dont *Québec Science*) vont doubler les mots pour les féminiser (« les écrivains et écrivaines »), tandis que d'autres vont adopter le point médian (comme ci-dessus). Notre langue est vivante, tant mieux.

Plusieurs jugent néanmoins le point médian peu accessible.

Déjà, il faut le trouver sur son clavier! Sur Windows, il faut appuyer sur la touche Alt et composer les chiffres 0183 sur le pavé numérique (si l'on en a un) pour le faire apparaître, une manœuvre digne d'un piratage informatique. Sur Mac, on y parviendra grâce à la combinaison Shift+Alt+h. Plusieurs modules d'extension pour navigateur permettent de résoudre le problème en transformant un caractère courant en point médian (cherchez « Écriture-Inclusive-Facile » ou bien « LÉIA »).

Ensuite, le fameux point doit pouvoir être interprété par un lecteur d'écran. Cet outil destiné aux personnes malvoyantes fait une synthèse vocale du texte affiché à l'écran ou le transcrit en braille. Pour le moment, il achoppe particulièrement sur les mots féminisés. Le mot *prêt-e-s*, par exemple, sera lu comme « prêt e, s » ou bien « prêt point médian e, s ». Pour l'intelligibilité, on repassera.

La solution est-elle d'éviter d'utiliser ce symbole pour féminiser les mots? À l'occasion des Journées d'étude Technologies et déficience visuelle tenues en 2020 en France, le spécialiste de lecteurs d'écran Yannick Plassiard notait qu'à un problème technologique il est aussi possible d'apporter une solution technologique. Pourquoi ne pas développer un module d'extension qui permettrait de « nettoyer » les textes de ces points médians avant qu'ils soient « lus » par l'outil?

Alors que notre langue évolue à toute vitesse sous l'impulsion des mouvements féministes, nos outils technologiques peinent à suivre le rythme. Ces questions sont pourtant essentielles, car l'écriture inclusive, comportant la forme avec le point médian, tend à se populariser. À quand une technologie épiciène? ●

# Pour une santé mondiale équitable

La pandémie de COVID-19 a exposé les inégalités sociales en matière de santé, en particulier dans les pays du Sud, où les vaccins restent difficilement accessibles.

Le Dr Madhukar Pai utilise toutes les tribunes pour les dénoncer.

Par Annie Labrecque

## Madhukar Pai

Médecin et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en épidémiologie translationnelle et santé mondiale à l'Université McGill



**L**es maladies qui sévissent dans les pays à faible revenu attirent en majorité peu l'attention et les investissements. Mais il suffit que ces mêmes maladies – ou une nouvelle venue – touchent les pays riches et le financement est instantané, selon Madhukar Pai, médecin et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en épidémiologie translationnelle et santé mondiale à l'Université McGill.

Naviguant entre Montréal et l'Inde, son pays d'origine, ce spécialiste de la tuberculose a fait de la justice sociale en santé son cheval de bataille. Ces deux dernières années, il s'est beaucoup insurgé contre l'indisponibilité des vaccins dans les pays du Sud et la « covidisation » de la recherche, soit la réorientation de nombreux fonds pour soutenir la lutte contre la COVID-19 au détriment d'autres maux. Il appelle aussi régulièrement à la décolonisation de la santé. « Tous les aspects de la santé mondiale, y compris les conférences, sont conçus pour profiter au Nord global, a-t-il déclaré lors de la 24<sup>e</sup> Conférence internationale sur le sida, tenue à Montréal en 2022. Le continent africain et les pays à faible revenu sont laissés-pour-compte. Ce n'est pas une erreur ou un parti pris inconscient. C'est délibéré et intentionnel et cela fonctionne comme prévu. Lorsque nous voyons le même schéma récurrent décennie après décennie et maladie après maladie, la seule explication est la suprématie blanche et le racisme systémique. Nous ne pouvons pas décoloniser la santé mondiale sans nous pencher sur cette réalité. »

**Québec Science : Comment avez-vous commencé à vous intéresser aux injustices en santé ?**

**Madhukar Pai :** Ce sont ces inégalités qui font que la tuberculose et d'autres maladies infectieuses font encore des victimes. Le monde devient de plus en plus inégalitaire. Les pays riches s'octroient la priorité sans soutenir les pays à faible et moyen revenu.

Le cas des vaccins contre la COVID-19 est emblématique. Les pays riches ont agi de sorte que 2,4 milliards de personnes ne soient pas complètement vaccinées en régissant la fabrication, la propriété intellectuelle et l'approvisionnement relatifs aux vaccins. Je suis convaincu que c'est systémique et intentionnel au détriment des pays pauvres.

Un Africain sur cinq est à ce jour non vacciné. Ce n'est pas normal que la population africaine reçoive en dernier le vaccin contre la COVID-19 [pour diverses raisons, l'Afrique a obtenu ses vaccins plusieurs mois après l'Europe, l'Asie et les Amériques] ou qu'il faille attendre 10 ans pour que les nouveaux traitements contre le VIH arrivent sur le continent. Ici, au Canada, nous sommes en colère si nous n'avons pas de traitements instantanément. Où est mon vaccin contre la variole simienne ? Où est ma dose de rappel pour la COVID-19 ? Nous manquons de décence et échouons sur le plan de la solidarité.

**QS Pourquoi n'observe-t-on pas de progrès quant à la gestion des maladies à l'échelle mondiale ?**

**MP** Nous continuons de répéter les mêmes erreurs année après année, maladie après maladie, pandémie après pandémie. Et c'est la même chose avec la crise climatique. Les répercussions de cette crise toucheront surtout les pays pauvres, mais elles n'épargneront pas les pays riches.

Nous faisons partie d'un monde dans lequel les pays à faible et moyen revenu représentent environ 80 % de la population du globe. Pourtant, ils sont constamment tenus à l'écart.

**QS L'été dernier, vous avez justement dénoncé le fait que le Canada organisait la conférence mondiale sur le VIH/sida en l'absence de plusieurs représentants africains, dont les visas avaient été refusés. Quelles étaient vos critiques ?**

**MP** Le *Globe and Mail* a rapporté que des représentants africains ont non seulement eu des difficultés à obtenir leur visa, mais que certains se sont aussi vu opposer des refus catégoriques. Pourtant, les participants latino-américains ont pu venir à Montréal sans trop d'embûches. Il y a eu des retards dans la délivrance des visas à cause de la pandémie, mais cela me laisse croire qu'il y avait aussi de la discrimination.

Vous ne pouvez pas organiser une conférence sur le sida sans la présence d'Africains alors qu'il s'agit de la population la plus touchée par la maladie avec des millions de vies perdues ! En les excluant de cette conférence, cela envoie le signal qu'honnêtement on s'en fiche. Il faudra une révolution où les pays à revenu intermédiaire exigeront que les pays riches



**Il est essentiel d'investir réellement dans la santé et de faire en sorte que les soins de santé soient un droit fondamental. Aujourd'hui encore, près de 50 % de la population mondiale n'a pas accès à des services de santé.**



ne puissent prendre de décisions à leur sujet sans qu'ils soient présents à la table.

La pandémie de COVID-19 a d'ailleurs ouvert les yeux des dirigeants africains sur ce point : ils ont réalisé qu'ils doivent notamment fabriquer leurs propres vaccins parce qu'ils ne peuvent pas compter sur les autres nations.

**QS** Vous êtes spécialiste de la tuberculose, une maladie infectieuse que vous qualifiez de l'une des plus meurtrières qui soit. On en entend pourtant peu parler.

**MP** La tuberculose continue d'être un grave problème, surtout dans les pays du Sud. L'infection progresse dès qu'il y a de la pauvreté, des inégalités, de la malnutrition et des conflits. Par exemple, si la guerre se poursuit en Ukraine, il y aura certainement une hausse des cas de tuberculose.

C'est une maladie meurtrière en grande partie parce que les nations riches n'investissent pas suffisamment dans la recherche et parce qu'on utilise encore de vieux outils pour la combattre. Le vaccin contre la tuberculose, le BCG, a eu 100 ans en 2021. Les médicaments, eux, ont été élaborés il y a plus de 40 ans. Il est très difficile d'éliminer la maladie uniquement avec ces traitements. S'il y a eu des milliards de dollars dépensés pour l'avancement scientifique et les vaccins contre la COVID-19, la tuberculose n'a jamais réussi à attirer ce genre d'investissement.

En étudiant les répercussions de la pandémie de COVID-19 sur les efforts pour enrayer la tuberculose, on estime que plus de 10 ans de progrès ont été perdus. Pourtant, nous nous rapprochons lentement des objectifs d'éradication de l'épidémie de tuberculose d'ici 2030.

Depuis la pandémie de COVID-19, la lutte contre d'autres maladies perd aussi du terrain, notamment celle contre le

VIH/sida et le paludisme. La couverture vaccinale des enfants a également reculé et ressemble à ce qu'elle était il y a 30 ans. La rougeole et la poliomyélite reviennent en force.

**QS** En effet, les investissements consacrés aux maladies comme le VIH/sida et la tuberculose ont été redirigés entièrement vers la lutte contre la COVID-19. Comment revoir les investissements ?

**MP** Il est essentiel d'investir réellement dans la santé et de faire en sorte que les soins de santé soient un droit fondamental. Aujourd'hui encore, près de 50 % de la population mondiale n'a pas accès à des services de santé. Les pays doivent prioriser la mise en place de la couverture de santé universelle, selon l'Organisation mondiale de la santé.

Sans cette couverture universelle, les combats contre la tuberculose, le paludisme et d'autres maladies sont perdus d'avance.

Nous avons la chance au Canada qu'un système universel existe. Même si celui-ci est imparfait, nous sommes bien mieux lotis que la plupart des autres pays. Mais regardez l'état de nos propres systèmes de santé au Québec et ailleurs au Canada ! Imaginez alors la situation dans les nations plus pauvres...

La préparation à une prochaine pandémie ou à d'autres maladies devient réalisable avec une couverture universelle. Cependant, convaincre les dirigeants qu'il faut à présent investir dans la santé mondiale est une tâche colossale, malgré les dégâts que la pandémie de COVID-19 a causés à l'économie de la planète.

**QS** Votre engagement est-il bien perçu dans le milieu scientifique ?

**MP** Il y a des scientifiques et des médecins qui se soucient beaucoup des

inégalités en santé, mais je reconnais qu'ils ne sont probablement pas majoritaires.

Mon université soutient mon travail et m'a nommé directeur de sa division de santé mondiale. J'ai reçu une chaire de recherche du Canada des Instituts de recherche en santé du Canada et des distinctions d'organismes comme la Société royale du Canada et l'Académie canadienne des sciences de la santé.

**QS** Croyez-vous que la prochaine génération est consciente de ces enjeux ?

**MP** Les jeunes représentent un grand espoir pour moi. Mais je m'inquiète aussi : tout le poids de nos problèmes ne doit pas reposer sur leurs épaules. Comment peuvent-ils résoudre la crise climatique par exemple ? Les dirigeants actuels ont la responsabilité d'agir sans tarder. La situation s'aggrave de jour en jour. On ne peut pas attendre qu'un étudiant devienne premier ministre dans 15 ans ! Nous devons être les alliés des jeunes et leur donner le pouvoir de faire évoluer les choses.

Pour être optimiste, il faut aussi contribuer réellement à un changement positif. En d'autres termes, il ne suffit pas d'espérer et de rester passifs devant nos problèmes. Pour moi, cela signifie éduquer les jeunes, parler aux médias, écrire, participer à une marche, manifester. Tout le monde doit s'y mettre. En ce moment, certaines des plus grandes transformations se produisent parce que les gens sont indignés devant l'inaction.

Je suis donc convaincu qu'il faut s'engager activement en tant que citoyen, qu'intellectuel, que professeur et que personne dont la voix est écoutée. Je dois faire quelque chose pour que l'espoir ne s'évanouisse pas. ●



PRÉSENTE



FESTIVAL  
GO VÉLO MTL

EN COLLABORATION AVEC



# FESTIVAL GO VÉLO MONTREAL 2023

28 MAI DÉFI  
MÉTRO-  
POLITAIN

2 JUIN TOUR  
LA  
NUIT

4 JUIN TOUR  
DE L'ÎLE  
DE MTL



UN ÉVÈNEMENT DE



INSCRIPTION : VELO.QC.CA





PARENTALITÉ BIENVEILLANTE :

# UNE RECETTE PAS SI PARFAITE?



Élever ses enfants avec empathie et bienveillance, comment être contre ? Pourtant, la paix est loin de régner en maître sur le monde en plein essor de la « parentalité positive ». Les débats font rage sur les pratiques à adopter avec les petits. La science peut-elle trancher ?

Par Marine Corniou

PHOTOGRAPHIES : DOMINIQUE LAFOND • ASSISTANTE : ROSE SÉGUIN

DIRECTION ARTISTIQUE : SOPHIE BENMOUYAL

**R**ien de tel qu'une bonne fessée pour discipliner la marmaille. C'est même le « moyen idéal de correction pour les parents consciencieux ». Ou plutôt ça l'était, selon un article du journal *La Presse* de 1961 qui rapporte l'avis d'un psychiatre américain renommé. « La fessée doit être donnée dans une attitude de ferme exécution de la justice avec une touche d'indignation justifiée, et dans un endroit privé où les cris de l'enfant ne pourront déranger ni les cœurs ni les oreilles des voisins. »

Outre la délicate attention visant à ménager la sensibilité du voisinage, un tel discours serait inimaginable aujourd'hui. En matière de parentalité, l'heure est à la douceur, à l'amour, au respect, et c'est évidemment tant mieux. L'éducation « positive » – que l'on appelle aussi parentalité

bienveillante, non violente ou consciente – est devenue un idéal auquel de nombreux parents aspirent. Le principe ? Élever ses enfants dans l'empathie, sans violence, être à l'écoute de leurs émotions, les guider plutôt que les faire obéir, « leur donner des ressources plutôt que des limites », pour reprendre les termes de la psychologue française Isabelle Filliozat, figure de proue de ce mouvement et auteure d'une quarantaine d'ouvrages sur le sujet.

Difficile de ne pas adhérer aux valeurs promues par l'éducation positive. Qui aurait envie de militer pour une parentalité « négative » ? Mais avec ce courant à mille lieues de la fessée, les parents seraient-ils tombés dans un autre extrême ? Chose certaine, la mise en pratique de la bienveillance éducative se révèle houleuse. Les milliers de livres, de blogues, de groupes Facebook, de conférences,





d'ateliers de coaching offerts aux parents pour renforcer leurs habiletés éducatives présentent pêle-mêle des conseils hétérogènes, parfois contradictoires. Sur les réseaux sociaux, de véritables camps se constituent, certains parents (en grande majorité des mères) défendant des méthodes jugées quasi criminelles par d'autres. Peut-on promettre une récompense à Junior? Le mettre à l'écart quelques minutes s'il enrage? Lui dire « non » fermement s'il mord son frère?

« J'ai passé beaucoup de temps sur les comptes Instagram de parentalité bienveillante, témoigne Valérie D., mère de deux enfants. Un jour, une publication a qualifié toute forme d'entraînement au sommeil pour les nourrissons de « maltraitance » [child abuse]. C'était la guerre dans les commentaires! Ça peut devenir vraiment culpabilisant quand tu es parent pour la première fois et que tu construis ta confiance. Pourtant, ce courant a du bon pour se défaire de l'éducation autoritaire qu'ont reçue nos parents. On partait de loin... Mais c'est dur de s'y retrouver. »

L'éducation positive est-elle aussi « scientifiquement prouvée » que ce qu'affirment ses adeptes? Que disent vraiment les études en sciences de l'éducation? En neurosciences? En psychologie de l'enfant? Et comment transposer leurs conclusions en actions concrètes, au jour le jour? Nous avons tenté d'y voir clair.

### MALTRAITANCE : DES SÉQUELLES RÉELLES

D'emblée, soyons lucides : aucune étude scientifique ne dicte la réaction à avoir

quand Félix refuse pour la énième fois de prendre son bain ou quand Colombe balance son assiette par terre. Et pour cause : le protocole expérimental serait irréaliste! Imaginez, par exemple, d'un côté, des enfants à qui on dirait systématiquement « non » lorsqu'ils s'approchent d'une prise électrique et, de l'autre, des enfants à qui on dirait « stop » dans la même situation (une approche prônée par le courant positif, le stop étant jugé moins négatif). « Il y a des règles de base, mais ça ne veut pas dire qu'on sait quoi faire dans chaque situation », résume George Tarabulsy, professeur à l'École de psychologie de l'Université Laval.

La science est tout de même catégorique sur certains points, en particulier celui de la maltraitance et de ses effets dévastateurs. Les études sont très nombreuses, et toutes concordent. La négligence, les châtements corporels ou les violences psychologiques (insultes, humiliations, paroles haineuses) subis dans l'enfance augmentent les risques subséquents d'anxiété, de dépression, de stress post-traumatique, de troubles de la personnalité, d'abus de substances et d'agressivité. Une enfance traumatique est aussi associée à un risque accru de maladies cardiovasculaires, d'asthme, de diabète, et même de cancer à l'âge adulte. Les enfants victimes d'abus et de négligence ont une espérance de vie réduite; la structure de leur cerveau est modifiée, et même leur ADN porte des stigmates durables de ces violences, sous forme de marques dites « épigénétiques ».

Le corpus de données est nettement moins étoffé pour les pratiques parentales « coercitives » qui, sans

être considérées juridiquement comme de la maltraitance, pourraient entrer facilement dans la catégorie « éducation négative ». On parle ici de parents sévères, peu chaleureux, qui crient régulièrement après leurs enfants, les secouent par les épaules, leur donnent parfois une tape sur la main ou une fessée (c'est encore légal au Canada). Il n'empêche, plusieurs études récentes ont révélé que la parentalité dure a également des conséquences délétères sur le développement.

Ces pratiques entraînent davantage d'agressivité et d'impulsivité chez les rejetons à l'âge adulte que l'éducation reposant sur la chaleur parentale, l'encouragement et le contrôle des émotions. C'est ce qu'a souligné une méta-analyse parue en 2017 regroupant 1400 études, et plus d'un million d'enfants et d'adolescents.

Hélas, ce mode éducatif à l'ancienne demeure présent, même s'il est en baisse. La dernière enquête sur la violence familiale menée en 2019 par l'Institut de la statistique du Québec révélait que 26 % des enfants québécois de 6 mois à 17 ans avaient subi une forme de punition corporelle (tape sur les fesses, les mains ou les bras) au moins une fois en 2018. Vingt ans avant, c'était presque deux fois plus.

### DE LA SCIENCE APPROXIMATIVE ?

La cause est donc entendue. Maltraiter un enfant est un désastre annoncé; l'élever de façon autoritaire n'est pas optimal pour son développement. À l'inverse, quelques études montrent les bienfaits

des liens parentaux affectueux et positifs, par exemple pour réduire le risque de dépression à l'adolescence ou atténuer les effets d'un environnement socioéconomique défavorable.

La science ne dit toutefois pas grand-chose de plus. Et c'est là que le bât blesse. L'univers commercial de la bienveillance multiplie les extrapolations et les raccourcis douteux, voire fallacieux. Des études faites sur des rats stressés sont transposées à l'humain. D'autres, menées sur la maltraitance chronique, sont détournées pour dénoncer les effets d'actions parentales loin d'être abusives.

« Quand l'adulte crie, menace, fait les gros yeux, punit l'enfant quand il mord, tape, fait des colères, il freine la maturation de son cerveau », écrit la pédiatre Catherine Gueguen dans son livre *Pour une enfance heureuse*. « Quand nous fronçons les sourcils, nous déclenchons la réaction d'immobilisation du stress chez l'enfant », affirme Isabelle Filliozat dans l'une de ses conférences. « Chaque fois que vous donnez un ordre, vous bloquez le cerveau préfrontal », ajoute-t-elle.

Ces affirmations ont fait réagir les scientifiques à qui nous les avons soumises. « Il semble que ce soient des extrapolations de connaissances générales », réagit Michael Potegal, neuropsychologue à l'Université du Minnesota, spécialiste des crises (de type bacon!) chez les tout-petits. Même son de cloche du côté de Nicolas Berthelot, psychologue à l'Université du Québec à Trois-Rivières et titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur les traumatismes développementaux : « Ça semble en effet des propos très affirmés et sans nuances, ce qui est rarement le cas en science. » Tous les spécialistes interrogés sont formels : on ne peut pas comparer les effets de stress répétés, chroniques et intenses aux petites frustrations ponctuelles liées aux aléas de la vie en famille.

En outre, les ouvrages de parentalité positive s'appuient parfois sur des concepts scientifiques dépassés. Par exemple, l'Américain Daniel Siegel, auteur à succès dans le domaine, base son argumentaire sur les hémisphères cérébraux gauche et droit, dont l'un serait « logique » et l'autre « émotif », des notions erronées.

Catherine Gueguen recourt pour sa part à la notion de cerveaux « archaïques » et émotif, qui domineraient chez les petits, alors que leur cortex orbito-frontal, régulant les émotions, est encore



## OUTILLER LES PARENTS VULNÉRABLES

Les parents qui se questionnent sur la parentalité positive et ses multiples facettes sont le plus souvent des parents aimants, favorisés économiquement et conscients des risques liés à la maltraitance. « Tout le monde a besoin d'être guidé, mais pour les familles vulnérables sur le plan social, le niveau de base et les acquis ne sont pas les mêmes », explique George Tarabulsky, de l'Université Laval. Ce sont ces parents-là qui ont le plus besoin d'être outillés, clament d'une seule voix tous les experts interrogés.

Plusieurs programmes visant à « enseigner » aux familles à risque certaines habiletés parentales ont été étudiés en long et en large dans le monde. Tous montrent, à des degrés variables, leur efficacité en matière de prévention de la maltraitance et d'amélioration des comportements des petits. Ils reposent tous sur une approche bienveillante, les différences concernant surtout la structuration des ateliers de formation et la durée.

Parmi les programmes les plus connus se trouvent le Triple P (*Positive Parenting Program*) et Ces années incroyables. Au Québec, les deux ont été implantés, dans divers contextes de recherche. Marie-Hélène Gagné, spécialiste de la question des violences familiales à l'Université Laval, a évalué le Triple P, entre autres dans la Capitale-Nationale, où il est encore donné dans certains milieux communautaires. « Le programme enseigne 17 stratégies, qui vont de l'écoute de l'enfant jusqu'au *time-out* [mise à l'écart]. Le parent constitue son propre portfolio de stratégies pour établir une relation harmonieuse avec son enfant », indique la chercheuse, qui s'apprête à publier les résultats de son étude portant sur 291 parents. Bilan : « Le Triple P est plus efficace que l'offre de services classiques », glisse-t-elle.

À Sherbrooke, Marie-Josée Letarte s'intéresse au programme Ces années incroyables, initialement mis sur pied à la fin des années 1970 aux États-Unis pour les enfants ayant un trouble du comportement. L'approche se décline en ateliers hebdomadaires, qui s'étalent sur 14 à 20 semaines selon les clientèles. « On insiste sur la relation parent-enfant : on passe 5 semaines à parler de l'importance de jouer avec l'enfant, de l'écouter, d'être engagé auprès de lui, de faire preuve d'empathie », note-t-elle.

De son côté, George Tarabulsky a amorcé des travaux pour mettre en place un programme national de soutien à la parentalité « fait au Québec », pour s'affranchir des programmes existants, « difficiles à modifier ».

En attendant, comment faire pour que les stratégies qui fonctionnent soient présentées aux familles ? « C'est un défi d'appropriation de la part des intervenants. Les travailleurs sociaux qui sortent de l'école ont à peine eu un cours d'introduction au développement de l'enfant, déplore-t-il. Et ils ont une charge de cas beaucoup trop élevée. » Pourtant, mieux vaut prévenir que guérir.

## QUE FAIRE POUR QUE LE LAVE-VAISSELLE SOIT VIDÉ ?

Le chantage, les récompenses, les négociations et l'isolement temporaire sont perçus par les idéologues de la bienveillance comme des « violences éducatives ordinaires ». En pratique, rares sont les parents qui n'en font jamais usage... « Un enfant n'a pas toujours la motivation pour vider le lave-vaisselle ou ranger. Pour qu'il développe une motivation intrinsèque, il faut d'abord qu'il essaie le comportement et voie qu'il est capable de le faire. On peut donc utiliser des récompenses, mais pas à long terme. Souvent, les félicitations et les encouragements suffisent », affirme Marie-Josée Letarte, experte en psycho-éducation à l'Université de Sherbrooke.

Le point qui cristallise toutes les tensions est toutefois l'usage du *time-out*, préconisé par Caroline Goldman dans son livre *File dans ta chambre !*. C'est pourtant une technique largement étudiée dans les programmes d'habiletés parentales, souligne Melanie Woodfield, chercheuse en psychologie à l'Université d'Auckland, en Nouvelle-Zélande, dans une synthèse sur le sujet publiée début 2022. « Des revues étendues sur le sujet indiquent que le *time-out* est à la fois sécuritaire et efficace quand il est utilisé de façon prévisible, non fréquente et calmement. »

Attention ! « Certains parents sont toujours dans le *time-out*, et ça ne fonctionne pas. Il faut que les bases empathiques et bienveillantes soient solides », souligne Marie-Josée Letarte. La punition n'exclut pas l'empathie : on peut parler des émotions vécues une fois le calme retrouvé.

Melanie Woodfield affirme que le *time-in* [réconfort] et le *time-out* ont tous deux leur place. Ainsi, « quand l'enfant vit une déception intense, de la colère ou de la frustration sans agressivité ni comportement destructeur, s'asseoir à côté de lui et décrire son expérience peut l'aider à se développer », écrit-elle.

Dans le cas où l'enfant refuse d'accomplir une action (s'habiller, se brosser les dents, alouette...), le neuropsychologue Michael Potegal souligne que l'indifférence ou le retrait sont contre-productifs – la tâche n'en sera pas plus accomplie. « Dans ce cas, je proposais à ma fille de poser mes mains sur les siennes pour l'aider à faire la tâche en question. Les enfants ont horreur de perdre leur autonomie ! Ça fonctionnait très bien. » À bon entendre...



immature. D'après elle, avant 7 ans, l'enfant serait incapable de se réguler, vivrait « des tempêtes émotionnelles » et aurait donc besoin d'être câliné en cas de crise.

Le hic, c'est que cela fait des décennies que les neuroscientifiques critiquent cette vision simpliste du cerveau, née dans les années 1960. Fin 2022, une équipe de l'Institut Max-Planck pour la recherche sur le cerveau réfutait une fois de plus ce modèle : il n'y a pas de zones cérébrales archaïques moins évoluées que d'autres, et les différentes régions ne fonctionnent pas isolément.

Autre assertion ambiguë de la D<sup>re</sup> Gueguen : le cortisol, l'hormone du stress, « est extrêmement toxique pour le cerveau de l'enfant ». Y compris ponctuellement, laisse-t-elle entendre, quand un enfant est laissé seul face à sa colère. Ainsi, si on demande à l'enfant d'aller se coucher, il se sentira « rejeté, isolé de force », écrit-elle, et « une structure cérébrale appelée cortex cingulaire antérieur [s'activera et produira] un sentiment de très grande souffrance », ce qu'aucune étude ne soutient. Quant à Isabelle Filliozat, elle explique dans une conférence sans citer de source que « devant la télévision, le cerveau de l'enfant sécrète des opioïdes. Si on l'éteint brutalement, il y a une chute des opioïdes, ce qui déclenche le circuit de la douleur. Ils ont réellement mal ».

Voilà qui peut être perturbant pour le parent « moyen », personne n'ayant envie de torturer sa descendance en éteignant les jeux vidéo. Or, si le cerveau des enfants est bel et bien immature, il n'est pas fragile au point d'être durablement affecté ou blessé par la moindre contrariété ou le moindre sentiment d'injustice. « Tous les parents perdent parfois patience ou ont recours à des interventions disciplinaires auxquelles l'enfant réagit. Il serait hasardeux de conclure que cela aura des conséquences négatives permanentes pour l'enfant », poursuit Nicolas Berthelot.

En entrevue, Isabelle Filliozat nuance d'ailleurs ses propos. « Une précision est nécessaire : déclencher le circuit de stress n'est pas forcément un gros souci. C'est seulement quand c'est répété, quand le parent ne restaure pas la relation, que cela pose problème à long terme. » Quant au fameux froncement de sourcils... « Il n'abîme pas le cerveau de l'enfant ; mais il n'est pas certain du tout que l'enfant va faire ce que nous lui demandons. » Ce sur quoi tout le monde s'entendrait sûrement !

Mitsiko Miller, formatrice des « Ateliers Filliozat » au Québec et coach familiale, admet que les livres pour le grand public simplifient peut-être trop les notions scientifiques. « On ne peut pas juste lire un petit passage, sur l'effet du froncement de sourcils, par exemple, et réussir à tout comprendre dans son contexte. La parentalité positive, ça se vit, ça ne se lit pas », estime-t-elle. Elle-même, d'ailleurs, se garde de s'aventurer sur ce terrain. « Pour moi, la parentalité consciente est une pratique spirituelle. Il faut suivre son intuition. »

Un art, donc, plutôt qu'une science ? Assurément, et le fait de sous-entendre l'inverse peut alimenter la confusion, surtout dans un domaine qui est aussi un business lucratif. « Il y a de plus en plus de consultants privés qui offrent des ateliers. À quel point font-ils des recherches ? Vérifient-ils l'efficacité de leurs interventions ? Sans données probantes, je ne peux pas dire si c'est efficace », explique Marie-Hélène Gagné, professeure à l'École de psychologie et membre du Centre de recherche sur l'adaptation des jeunes et des familles à risque de l'Université Laval. Elle évalue justement, dans le cadre

## CERVEAU ET ÉDUCATION À LA DURE

Du côté cérébral, l'éducation coercitive pourrait laisser des traces. En 2021, Sabrina Suffren les a décelées chez une centaine d'enfants suivis annuellement à l'hôpital Sainte-Justine entre les âges de 2 et 9 ans. « Il y a un lien entre le fait d'avoir subi ce type de pratiques coercitives de manière chronique et le volume de l'amygdale et du cortex préfrontal », explique la chercheuse, aujourd'hui en postdoctorat à l'Université du Québec à Trois-Rivières.

Les deux régions sont liées : le cortex préfrontal régule l'amygdale, qui joue un rôle dans la perception et la modulation des émotions. « Mais l'étude porte juste sur l'anatomie. Elle ne fait pas de lien de cause à effet », précise la chercheuse.

Une étude néerlandaise de 2022 regroupant 2400 enfants a quant à elle montré que la parentalité sévère est associée à un volume cérébral global plus faible chez les jeunes de 10 ans. « Cela suggère un lien entre la morphologie du cerveau des préadolescents et un contexte d'éducation défavorable courant dans la population générale », conclut l'équipe.



de protocoles de recherche, l'efficacité de certains programmes de soutien aux habiletés parentales (voir l'encadré en page 19).

### EXCÈS ET CULPABILITÉ

Évidemment, « les livres et les ateliers proposent des interventions qui ne sont pas nécessairement mauvaises, la plupart sont même assez sensées, souligne Marie-Hélène Gagné. Mais cela peut donner l'impression qu'il y a des recettes d'éducation, ce qui est faux. Cela peut aussi créer de la confusion chez les parents, générer du stress et de l'anxiété ».

La confusion est d'autant plus grande que les « spécialistes » de l'éducation positive ne préconisent pas tous et toutes les mêmes choses. À titre d'exemple, les Américaines Adele Faber et Elaine Mazlish suggèrent d'offrir des choix aux enfants : « Tu veux mettre le pantalon rouge ou le gris ce matin ? » Pour Mitsiko Miller, au contraire, « donner l'illusion de choix, c'est de la violence. On est dans le contrôle ».

Chose certaine, entre les livres et la vie réelle, il y a un fossé fait d'émotions, d'horaires, de contraintes, d'humeurs changeantes. La volonté de certains parents de suivre à la lettre ces prescriptions éducatives peu réalistes rend parfois leur quotidien chaotique.

Et les discours pseudo-scientifiques nourrissent un courant extrême : dans les groupes de soutien parentaux, ou sur certains blogues, les jugements péremptifs pleuvent, souvent au nom des « neurosciences ».

Ainsi, dire non fermement à un enfant, c'est du « conditionnement par la peur ». Imposer un choix de repas, c'est de « l'adultisme ». Affirmer à notre fille que son dessin est joli peut la conduire à « devenir dépendante des compliments ». Les récompenses et autres tableaux de motivation reviennent à « dresser » les enfants pour qu'ils deviennent obéissants. Dire bravo ou manifester sa fierté tue la motivation intrinsèque du bambin, qui n'apprend pas à faire les choses pour lui. Forcer son engance à se brosser les dents ou la moucher sans son consentement est une « atteinte à son intégrité ». Enfiler un habit de neige en janvier à un marmot contre son gré est une « violence psychologique » : laissons-le expérimenter le froid s'il le souhaite !

Bombardés d'injonctions contradictoires, pétris par la volonté de bien faire et bloqués par la peur de traumatiser leurs enfants, nombreux sont les parents qui se déclarent perdus, voire épuisés, incapables d'atteindre cette parentalité parfaite. « En consultation, je vois beaucoup de parents contaminés par le dogme d'une parentalité positive qui place le bien-être de l'enfant au-dessus

de tout : de la qualité de la vie de couple, de la santé physique de la mère, des liens avec l'entourage. Ce sont des gens qui peuvent rompre avec leur famille tant ils pensent que le monde entier a tort ! » fulmine Caroline Goldman. Cette pédo-psychologue française est partie « en croisade médiatique contre les spécialistes autoproclamés qui n'ont aucun diplôme en pédopsychologie ». Elle ne décolère pas : « Ces injonctions qui ne reposent sur rien placent les parents en échec ! C'est là toute la perfidie du système : ils sont dans la détresse, créent des communautés sur les réseaux sociaux et ... achètent les livres. » Elle dresse un constat cinglant de ces dérives dans un balado.

« Cette idéologie de la parentalité bienveillante ne m'a pas aidée à être bienveillante envers moi-même, souligne Valérie D. Ça normalise le fait qu'il faut être dans le don total de soi. »

Un don total qui se fait parfois au détriment de la santé mentale. Selon des études récentes, de 5 à 20 % des parents seraient en *burnout*, émotionnellement détachés de leurs enfants et accablés par un sentiment d'incompétence. L'éducation positive n'est pas forcément en cause, mais « il y a des preuves que la "parentalité intensive" est associée à des sentiments de culpabilité et de stress. Ce qu'on appelle le "perfectionnisme induit par la société" [l'impression qu'on attend de nous la perfection] est l'un des

## L'ÉDUCATION BIENVEILLANTE EST UN CONCEPT FLOU POUR VOUS ?

Voici quelques règles d'or (non exhaustives) de cette approche, que l'on trouve dans la plupart des courants :

- 1 Passer du temps de qualité avec ses enfants. Jouer avec eux, les écouter, leur parler, leur proposer des activités variées.
- 2 Distinguer l'enfant de ses actes. Ne pas dire « Tu es méchant/infernal/maladroit » pour ne pas nuire à son estime.
- 3 Exprimer les limites de façon positive et donner des consignes claires. Dire : « On reste sur le trottoir » plutôt que « Ne traverse pas ». Remplacer : « Range ta chambre » par « les poupées vont dans le bac ».
- 4 Rediriger l'enfant, c'est-à-dire le réorienter vers une autre activité pour le détourner d'une action non souhaitable.



facteurs prédictifs les plus forts de *burnout* parental », soutient Kaisa Aunola, une chercheuse finlandaise qui s'est penchée sur le sujet.

Le risque est de perdre pied, de s'accabler, mais aussi exploser ! « Le jour où le parent est trop à bout, il peut arriver quelque chose de grave », avertit la professeure Marie-Hélène Gagné.

Il n'y a pas que pour les parents que cette dérive perfectionniste est coûteuse. « J'en ai vu, des mères complètement démunies et impuissantes face à des enfants de trois ou quatre ans qui ont des comportements extrêmement perturbateurs, dominants, irrespectueux. C'est très insécurisant pour les enfants. Ils ont besoin d'avoir des parents solides qui savent dire "ça suffit" », affirme la chercheuse.

Isabelle Filliozat remarque de son côté que la parentalité positive fait du bien aux parents. « Mon expérience est plutôt que ces informations [leur] ôtent

beaucoup de culpabilité. C'est en tout cas ce qu'ils me disent tellement souvent. »

### LA QUESTION DES LIMITES

Caroline Goldman, elle, dit ramasser les pots cassés. Depuis quelques années, la majorité des parents qu'elle reçoit en consultation sont « aimants, stimulants, bien accordés, mais ne mettent pas de limites et se font hurler dessus ». « Tout est catastrophique là-dedans ! L'enfant est perdu dans les codes de la société et, en plus, il culpabilise de faire du mal à ses parents », estime la psychologue.

Marie-Josée Letarte, chercheuse en psychoéducation à l'Université de Sherbrooke, observe des situations semblables. « Les parents qui lisent beaucoup de livres sur la parentalité positive pensent que le dialogue, l'écoute, le jeu peuvent suffire. Mais ce n'est pas tout. Il faut aussi être ferme en posant des limites claires, cohérentes. Ça aide l'enfant à se construire et à devenir autonome, dit-elle. C'est d'autant plus vrai quand il y a des troubles de l'opposition ou des dysrégulations. »

Plusieurs études montrent d'ailleurs qu'une éducation trop permissive augmente le risque de dépression, d'anxiété et de troubles du comportement chez les adolescents et les jeunes adultes. À leur décharge, les partisans de l'éducation positive soutiennent que bienveillance

n'est pas synonyme de laxisme. Dans ses conférences, Mitsiko Miller insiste sur le fait de se respecter soi-même en tant que parent, de mettre des limites. Isabelle Filliozat préfère édicter des « règles » plutôt que de poser des interdits. Mais c'est dans l'application « pratique » et la gestion des crises que leur marche à suivre se heurte à celles des spécialistes en psychoéducation : dans l'idéologie positive, se détourner de l'enfant ou le punir est inenvisageable.

Michael Potegal (le spécialiste du bacon !) est pourtant catégorique : « Réconforter un enfant en pleine crise, parce qu'il veut obtenir un objet, un privilège ou réclame votre attention, revient à renforcer ce comportement. » Marie-Josée Letarte abonde dans son sens : « Quand on a une relation solide et empathique avec son enfant, qu'on donne de l'attention à ses comportements positifs, qu'on reconnaît ses efforts, c'est adapté de l'ignorer s'il attire l'attention de façon inadéquate. »

De son côté, Caroline Goldman affirme qu'il y a « des punitions non violentes et salutaires ». Sa solution ? « Le *time-out*, soit la mise à l'écart de l'enfant quelques minutes dans sa chambre... Sans violence, sans crier, dit celle qui est aussi mère de quatre enfants. Il ne faut pas que la pulsion agressive de l'enfant envahisse tout l'espace familial. » D'autres spécialistes plaident plutôt pour le retour au calme quelques minutes sur

# 5

Reconnaître les émotions de l'enfant (et les nôtres). Éviter de dire : « Arrête de pleurer, ce n'est rien ! », mais opter pour « Je vois que tu es fâché ».

# 6

Décrire le problème de façon neutre. « Je vois des souliers éparpillés dans l'entrée, quelqu'un pourrait trébucher. »

# 7

Utiliser l'humour. Faire rire l'enfant l'aide à coopérer.

# 8

Fixer les règles à l'avance. Pour éviter de s'énerver, répéter la consigne en un seul mot : « Manteau. » Être cohérent et constant.

# 9

Souligner ses efforts et inciter l'enfant à trouver des solutions.

une petite chaise dans la même pièce, pour les enfants de trois ans et plus, toujours en dernier recours.

Quelle que soit l'option préférée par les familles, « le recours à des conséquences n'est pas à proscrire dans la mesure où celles-ci sont annoncées à l'avance, adaptées au développement de l'enfant, et s'inscrivent dans un encadrement clair, prévisible, cohérent et sensible », affirme Nicolas Berthelot.

La morale, s'il y en a une ? « Il ne faut pas regarder les réseaux sociaux ! » affirme George Tarabulsky, pour qui la parentalité réside avant tout « dans l'intentionnalité et la réflexion ». « Les réseaux sociaux peuvent alimenter les craintes », reconnaît aussi Isabelle Filliozat.

Quoi qu'il en soit, l'erreur est humaine, et tout particulièrement parentale. « Ce n'est pas grave que les enfants soient parfois exposés à une mauvaise régulation des émotions de leurs parents. On peut leur dire qu'on aurait dû respirer, ou s'éloigner, plutôt que crier », note Marie-Josée Letarte. « Les épisodes de conflits et les moments où un enfant adopte des comportements inadéquats représentent des occasions de l'aider à identifier ses émotions et à comprendre les motivations à l'origine de ses comportements et leurs effets sur les autres. Ce faisant, il développe des habiletés extrêmement importantes et complexes », ajoute Nicolas Berthelot.

Une chose est sûre : ce n'est pas en appliquant des recettes éducatives caricaturales que l'on apprend à être parent. Même si certaines astuces peuvent faire des miracles avec certains enfants, au sein de certaines familles, à certains moments de leur développement. « Je m'abstiens le plus possible de donner des conseils, il est important pour moi que les gens se sentent libres de leur choix », souligne Isabelle Filliozat. L'approche trop dogmatique est aussi directement dénoncée par Mitsiko Miller, dans son livre *Découvrir la parentalité positive* : « Cette approche est vouée à l'échec parce qu'elle ne tient pas compte de notre inclination à [nous] former par le biais de nos erreurs. [...] La première compétence à développer ici est la compassion pour soi et l'indulgence. »

Cette compassion, Valérie D. l'a finalement trouvée auprès d'autres parents – en chair et en os –, qui ont été bienveillants envers elle et l'ont rassurée sur ses décisions. « C'est ce qui m'a le plus aidée dans ma parentalité », dit-elle. Voilà qui vaut plus pour elle que tous les manuels, ateliers et conférences réunis. ●

#### À lire sur le Web :

Repenser la relation adulte-enfant pour une autorité bienveillante  
[www.quebecscience.qc.ca/societe/autorite-bienveillante/](http://www.quebecscience.qc.ca/societe/autorite-bienveillante/)

**Quoi qu'il en soit,  
l'erreur est humaine, et  
tout particulièrement  
parentale.**



# UN É T R A N G E V I S I T E U R dans le Saint-Laurent

Des poissons-lunes en cavale se retrouvent parfois dans le Saint-Laurent. Qui sont-ils ?

PAR JEAN-PIERRE SYLVESTRE

**L'**été dernier, des passants ont découvert le cadavre d'un poisson-lune gisant sur la plage de Métis-sur-Mer, en Gaspésie. Imaginez leur surprise devant ce gros animal énigmatique!

Le poisson-lune commun ou môle (*Mola mola*) n'est pas un poisson communément rencontré dans les eaux froides du Saint-Laurent. Et pour cause : c'est une espèce pélagique des mers tropicales, subtropicales et tempérées.

Pour autant, ce poisson géant n'en est pas à sa première visite dans les eaux canadiennes. Les pêcheurs du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse en capturent à l'occasion, les premières observations ayant été rapportées dans les années 1940. Quelques échouages ont aussi été signalés dans le Bas-Saint-Laurent au fil des ans.

Les observations semblent toutefois s'y multiplier. En 2015, la biologiste Lyne Morissette, cheffe d'une mission scientifique à bord du voilier *Roter Sand*, observe par deux fois des poissons-lunes nageant dans le Saint-Laurent, tandis qu'un individu s'échoue à Trois-Pistoles. En 2017, des pêcheurs font état de plusieurs observations dans l'estuaire et le golfe. En août 2019, un poisson-lune de 2 mètres

de long est observé par des naturalistes lors d'une patrouille dans les eaux côtières du parc national de l'Île-Bonaventure-et-du-Rocher-Percé en Gaspésie. En novembre 2020, une carcasse de 142 kilos est découverte sur une plage de l'Île-du-Prince-Édouard. Laura Bourque, pathologiste vétérinaire du Réseau canadien pour la santé de la faune, a effectué une nécropsie et estimé que le poisson avait succombé à une hypothermie.

Pour certains spécialistes, la présence accrue de ce poisson dans nos régions serait associée au réchauffement climatique. Ce dernier « pourrait avoir un rôle à jouer », selon Martin Ouellet, vétérinaire pour le groupe de recherche Amphibia-Nature. Mais une autre explication toute simple est probable. « Les poissons-lunes doivent manger beaucoup de méduses, et le Saint-Laurent semble riche en la matière à certaines périodes : surtout à la fin de l'été et en automne, soit exactement quand on a des observations. » Le spécialiste remet par ailleurs en doute l'idée d'une hausse de la présence du poisson. « Le réseautage est meilleur aujourd'hui, constate celui qui effectue un suivi de cette espèce depuis 2003. Avant, les observations restaient dans les chaumières : il était difficile de



Le poisson-lune ressemble à un « tronc » (ou à une grosse tête circulaire) muni sur le dessus d'une longue nageoire dorsale et, en dessous, d'une autre longue nageoire ventrale. À l'arrière de ce corps, la nageoire caudale est formée par une bande ondulée allant de haut en bas. Il adore les « bains de soleil », et il n'est pas rare qu'on le voie couché à l'horizontale à la surface pour se faire réchauffer. D'ailleurs, son nom anglais est *sunfish*, le « poisson-soleil ». Cette photo a été réalisée au large d'Halifax en 2018.



Cette carcasse a été découverte sur une plage de Bonaventure en 2013. Amphibia-Nature l'a mesurée : le spécimen faisait 2,46 m de la nageoire ventrale à l'extrémité de la nageoire dorsale.

faire de la photo et il n'y avait pas de numéro 1 800 pour déclarer un spécimen. Maintenant, tout le monde a un cellulaire dans sa poche pour faire une photo à diffuser sur les réseaux sociaux, et notre ligne téléphonique est de plus en plus connue. » Il n'est donc pas prêt à parler d'une hausse du poisson dans nos eaux. D'ailleurs, l'organisme a recensé 12 observations en 2022, ce qui est somme toute similaire à la moyenne des 20 dernières années.

Le poisson-lune « se laisse facilement emporter par des courants chauds dans

des régions qui ne font pas partie de sa distribution habituelle », explique le professeur Osame Tabeta, spécialiste des tétraodontidés (dont fait partie le poisson-lune) et chercheur à l'Université des Pêches de Shimonoseki, au Japon. Les poissons qui dérivent sous nos latitudes pourraient aussi être des individus malades ou blessés, qui peinent à nager et qui sont poussés par les vagues sur les côtes.

Et nous, pouvons-nous le manger ? On dit que sa chair bouillie a une odeur infecte, rappelant celle de la colle forte.

Avis aux gourmets que cette description ne rebute pas : il est déconseillé de consommer n'importe quelle partie de cet animal. En effet, comme l'explique le professeur Tabeta, ce poisson « est étroitement apparenté aux fugus (poissons-ballons et autres tétrodons), très connus pour leurs viscères, qui sont les plus toxiques au monde. La chair du poisson-lune risquerait de provoquer des intoxications ».

De toute façon, il serait ardu de l'attraper. Le poisson-lune est difficile à harponner en raison de la couche cartilagineuse de 8 centimètres d'épaisseur qui se trouve sous sa peau. De plus, le puissant animal peut plonger à une profondeur de 180 mètres en moins d'une minute... De tous les poissons du Saint-Laurent, voire des eaux marines canadiennes, le poisson-lune reste l'une des créatures aquatiques les plus étranges. Qui sait, au cours des étés à venir, peut-être en rencontrerez-vous un en train de faire le plein de soleil à la surface de l'eau ! « La première fois qu'on le voit, ça donne la chair de poule ! » prévient Martin Ouellet. ●

**POUR SIGNALER LA PRÉSENCE D'UN POISSON-LUNE VIVANT OU ÉCHOUÉ :**

Amphibia-Nature  
[info@amphibia-nature.org](mailto:info@amphibia-nature.org)  
 ou 1 877 863-5884

Attention : il faut une photo ou une vidéo à titre de preuve !

Il existe six espèces de poissons-lunes réparties dans toutes les mers et les océans tropicaux, subtropicaux et tempérés de la planète. L'espèce la plus répandue est le poisson-lune commun (*Mola mola*). Ce poisson mesure en moyenne 1,8 mètre de long, 2,4 mètres d'envergure (en hauteur, c'est-à-dire de la pointe de la nageoire dorsale à la pointe de la nageoire ventrale) et peut peser jusqu'à une tonne. Les poissons-lunes sont les plus gros des actinoptérygiens (poissons osseux). Le poisson-lune de Ramsay (*Mola alexandrini*) est certainement le géant du genre, qui se prend parfois dans les filets des pêcheurs japonais. Le plus gros pêché au Japon mesurait 2,7 mètres de long et pesait 2,3 tonnes. En septembre 2022, un article scientifique révélait l'identité du « plus gros poisson osseux du monde » : un poisson-lune de Ramsay de plus de 3 mètres et de 2,7 tonnes, trouvé mort aux Açores.



POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

150  
ANS

À FAÇONNER

LE QUÉBEC

POLY MTL 150 ANS

Le 20 novembre 1873, le Québec se dotait d'une première école francophone pour appuyer sa révolution industrielle, une école qui deviendra Polytechnique Montréal. En mettant en place des systèmes de canalisation et de traitement des eaux, de grands barrages et des infrastructures de toutes sortes, ses diplômées et diplômés ont sculpté le Québec qu'on connaît aujourd'hui. Au laboratoire, les scientifiques de ses huit pôles d'excellence se préparent maintenant à accompagner la province dans ses prochaines transformations.

COUP D'ŒIL SUR UNE INSTITUTION ANCRÉE

DEPUIS TOUJOURS DANS LES BESOINS DE LA SOCIÉTÉ





Daria Camilla Boffito avec des membres de son équipe

## TRANSFORMER LA CHIMIE

**AU** cours des prochaines décennies, une explosion des besoins en eau, en énergie et en matières premières est attendue. Répondre à une telle demande tout en respectant nos objectifs environnementaux requiert de profondes transformations.

Pour y parvenir, les stratégies sont nombreuses. Augmenter le rendement et l'efficacité des réactions chimiques, renouveler de la matière en fin de vie et mettre au point de nouvelles sources d'énergie verte ne sont que quelques-unes des stratégies mises en avant par les équipes de recherche du pôle d'excellence en énergie, eau et ressources de Polytechnique Montréal.

« C'est un univers de recherche pour lequel les retombées sont proches de la société, explique Daria Camilla Boffito, professeure au Département de génie chimique. Les technologies qu'on développe ici contribuent à l'innovation et au progrès dont on a besoin pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et assurer notre avenir énergétique. »

Parmi les projets auxquels travaille la professeure Boffito : la production d'un carburant vert pour l'aviation en coopération avec le SAF+ Consortium, regroupant de nombreuses entreprises. « En combinant de l'hydrogène à du CO<sub>2</sub>, il sera possible d'obtenir un carburant d'avion avec une empreinte carbone inférieure à celle d'un carburant classique. Là où l'on doit innover, c'est dans

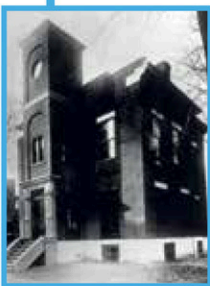
la performance du catalyseur qu'on utilise pour permettre cette réaction et dans la conception du réacteur où le tout va se dérouler. »

Réduire les émissions de gaz à effet de serre pourrait aussi passer par une réduction de la taille de l'industrie chimique elle-même, grâce à l'intensification des réactions. En développant de nouveaux procédés catalytiques, ou grâce à des procédés impliquant des ultrasons ou de la mécano-chimie, Daria Camilla Boffito espère améliorer l'efficacité des réactions au point qu'il serait envisageable de réduire la taille des équipements en plus de la quantité de sous-produits et de déchets qui découlent de ces réactions. À la clé : une réduction de l'empreinte carbone de l'industrie chimique!

Les techniques d'intensification peuvent aussi jouer d'autres rôles, notamment dans le traitement des eaux usées. « On peut utiliser des ultrasons pour dégrader des polluants dans l'eau avant de la rejeter dans l'environnement », ajoute la chercheuse.

Ce ne sont que quelques exemples, et les chercheurs et chercheuses de Polytechnique ont de nombreuses cibles dans leur mire pour préserver l'environnement. « La biomasse, les déchets électroniques, les résidus de l'industrie minière : tous pourraient être traités ou transformés grâce à des technologies innovantes », affirme la professeure Boffito. Le défi est lancé!

### 1873



L'École des sciences appliquées aux arts et à l'industrie est fondée à Montréal. Sept élèves et trois professeurs prennent part à la première session en janvier 1874. L'École s'établit dans un édifice situé sur l'actuel emplacement de la Place des Arts. Elle prend officiellement le nom d'École Polytechnique de Montréal en 1876.

### 1887



L'École s'affilie à l'Université Laval et forme les premières générations d'ingénieurs canadiens-français à l'application de la science dans la réalisation des grands projets immobiliers et ferroviaires. Pendant plusieurs années, les cohortes ne comptent pas plus de dix étudiants. Ici, les diplômés de 1888.

La professeure Virginie Francoeur

## UNE APPROCHE HUMAINE POUR FAIRE FACE À LA CRISE

**F**aire face aux défis environnementaux que nous connaissons nécessite d'importantes transformations technologiques, mais surtout sociales. Des chercheuses et chercheurs de Polytechnique Montréal travaillent donc activement à trouver des solutions concrètes pour réduire notre empreinte environnementale.

« Ma mission est de sensibiliser les ingénieurs à l'importance de prendre en compte les aspects humains et environnementaux dans les décisions organisationnelles, » explique Virginie Francoeur, professeure au Département de mathématiques et de génie industriel.

La chercheuse s'intéresse principalement aux comportements écoresponsables en milieu de travail. « Les entreprises sont les principales sources de pollution, mais la majorité des études sur l'impact environnemental du comportement humain ont été faites dans le milieu résidentiel. Or, on passe le plus clair de notre vie au travail, 100 000 heures environ. C'est donc important d'approfondir les connaissances sur les façons de faire dans ce milieu, car les comportements ne sont pas les mêmes qu'à la maison. »

Des travaux nécessaires, puisque, présentement, la vaste majorité des entreprises évaluent les émissions de gaz à effet de serre liées à leurs activités, mais pas celles occasionnées par leur personnel. Développer des stratégies pour changer les mauvaises

habitudes des travailleurs et travailleuses, qui sont à 95 % volontaires, est une tâche qui se trouve à la jonction entre la gestion du changement et la psychologie organisationnelle.

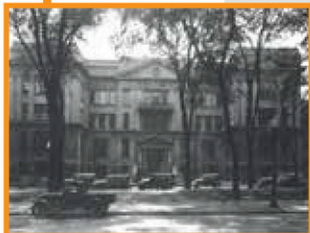
« C'est une boîte noire, et je travaille à l'ouvrir. Les entreprises veulent que leurs employés soient dévoués à la fois aux clients, à l'organisation et à l'environnement, mais elles n'investissent pas les ressources nécessaires pour y parvenir. Si on veut changer cette culture pour réussir un vrai virage vert, il faut comprendre ce qui se passe sur place et donner plus de ressources. »

Ses projets, qui vont du verdissement de l'industrie de la construction au zéro déchet dans l'industrie alimentaire, en passant par l'effet de l'épuisement sur les comportements écoresponsables, nécessitent une présence constante sur le terrain.

« C'est un milieu foisonnant ! Je croise constamment des gens qui veulent s'investir dans la recherche pour avoir un impact dans la société. Ce n'est pas une recherche déconnectée du vrai monde ; je travaille avec les organisations pour changer les choses, et c'est hyper motivant », conclut Virginie Francoeur.

L'adaptation aux changements climatiques exigera une grande variété d'approches et, grâce à la diversité d'expertise de son corps professoral, Polytechnique Montréal pourra offrir des solutions originales.

1905



Le personnel de Polytechnique emménage dans un tout nouvel espace, rue Saint-Denis, dans le Quartier latin, un édifice qu'il occupera jusqu'en 1958 et qui est aujourd'hui intégré à l'Université du Québec à Montréal.

1920



L'École Polytechnique s'affilie à l'Université de Montréal. La même année, les ingénieurs québécois se regroupent pour former une corporation, qui deviendra un jour l'Ordre des ingénieurs du Québec. Le succès des diplômés de Polytechnique dans l'administration publique comme ingénieurs-conseils établit la réputation de la profession. Ici, une classe en 1913.



Le professeur Oussama Moutanabbir

## JOUER AUX LEGO AVEC DES ATOMES

Quels matériaux formeront les ordinateurs, les avions, les routes ou même les gratte-ciel de demain? Tous les polymères et tous les métaux ont des limites, que cela soit en tension physique, en conduction d'électricité ou de chaleur, ou même en transfert d'information. Or, ces limites peuvent être repoussées quand on sait comment réorganiser la matière à l'échelle nanométrique. « Ce que mes collègues, mes étudiants et moi faisons est comme jouer aux Lego avec des atomes, dit à la blague Oussama Moutanabbir, professeur au Département de génie physique. On trouve le meilleur arrangement de molécules possible pour donner des propriétés inédites à un matériau! »

Les matériaux que tout ce beau monde met au point permettent de s'attaquer à de nombreux types de problèmes. « Des matériaux innovants pourraient d'abord permettre de surmonter des défis d'ingénierie, des structures pour lesquelles on maîtrise la théorie, mais pour lesquelles les matériaux qui permettraient de les concrétiser dans le monde réel n'existent pas encore. Dans d'autres cas, cela permettrait de surmonter des défis de science plus fondamentale, des concepts de la physique qu'on ne comprend pas encore et qui pourraient être élucidés grâce à des matériaux aux propriétés insoupçonnées! »

Il est aussi question de trouver les matières qui démocratiseront certaines technologies déjà existantes, mais qui coûtent tellement cher qu'on ne les trouve que dans des appareils militaires. « Par exemple, il y a un énorme besoin en caméras infrarouges capables

de distinguer des objets dans le noir sans subir les interférences liées à la météo, comme le brouillard, la neige ou la pluie, poursuit le professeur Moutanabbir. Cela est crucial, notamment dans la mise au point de voitures intelligentes. Dans mon laboratoire, on a développé les bases de telles technologies. On doit maintenant régler les problèmes d'ingénierie pour en faire des caméras fonctionnelles et abordables. »

Concevoir des matériaux plus respectueux de l'environnement est aussi un besoin pressant sur lequel travaillent les chercheurs et chercheuses de Polytechnique Montréal. Oussama Moutanabbir s'attaque pour sa part aux défauts des puces électroniques. « L'énergie gaspillée par la résistance des puces électroniques est immense. Un centre de données affilié aux réseaux sociaux perd en chaleur autant d'énergie que ce que produit une centrale au charbon! »

Pour corriger le tir, il faudrait plutôt utiliser des matériaux qui misent sur la lumière pour le transfert de l'information, un peu à l'image de la fibre optique. « Ce qu'on trouve dans les puces électroniques ne conduit présentement pas la lumière, ça prend donc des nouveaux matériaux qui pourront faire le pont. »

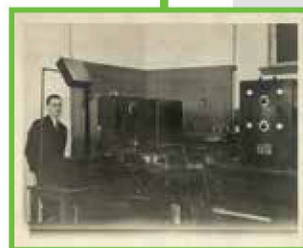
Polytechnique Montréal est l'un des rares endroits où un projet de science fondamentale peut cheminer jusqu'à une application commerciale, conclut le professeur Moutanabbir. Jouer aux Lego peut mener très loin!



### 1930 à 1934

Huit diplômés de l'École Polytechnique deviennent les premiers ingénieurs québécois à mater le Saint-Laurent par la construction du pont Honoré-Mercier.

### 1930



Jean-Charles Bernier, futur professeur de l'École Polytechnique et pionnier de la recherche, signe le premier mémoire de maîtrise. Il mènera plus tard des travaux pour mettre au point un appareil de télévision.



Au centre, le professeur Carl-Éric Aubin

## L'INGÉNIERIE AU CŒUR DES AVANCÉES MÉDICALES

**N**ommez une avancée de la médecine survenue au cours des dernières décennies, et il y a fort à parier qu'elle repose sur un progrès en ingénierie.

« L'ingénieur est omniprésent en médecine ; il est essentiel, s'exclame Carl-Éric Aubin, professeur au Département de génie mécanique à Polytechnique Montréal. Dès qu'il y a de l'équipement ou des données à analyser, il y a toujours de l'ingénierie ! » Pensons à la conception de l'équipement hospitalier, à l'acquisition de données, aux outils diagnostiques et de traitement, sans parler des effets de l'intelligence artificielle à chacune de ces étapes.

Il ne manque donc pas de travail pour les experts du pôle d'excellence en santé humaine ! « Polytechnique collabore depuis 40 ans avec le Département de médecine de l'Université de Montréal, rappelle le professeur Aubin. Ces collaborations étroites apportent énormément de valeur au génie biomédical. »

Lui-même dirige des projets de pointe en orthopédie chez de jeunes patients souffrant de déformations importantes à la colonne vertébrale. L'objectif de ses travaux : augmenter l'efficacité des traitements tout en diminuant leur côté invasif.

« Pour des enfants avec scoliose modérée, le traitement actuel est un corset rigide autour du tronc qui applique des forces 23 h sur 24, comme un tuteur... C'est une intervention très lourde pour un enfant. Parmi nos projets, on utilise de nouveaux matériaux

qui permettent une meilleure aération du corset et une connexion sur un téléphone intelligent pour suivre les progrès ou les difficultés de l'enfant et pour l'encourager. »

Quant aux cas plus graves, l'équipe du chercheur effectue des simulations informatiques pour planifier l'intervention chirurgicale nécessaire, le positionnement des implants et la tension à appliquer dans certains câbles. Le tout pour réduire l'intervention et s'assurer que la colonne est bien corrigée.

Les nouvelles techniques de fabrication, telles que l'impression 3D, font également leur chemin jusqu'au monde médical. Elles permettent de produire des dispositifs innovants grâce à de nouveaux biomatériaux.

À plus grande échelle, la télémédecine, qui a pris une place prépondérante avec la pandémie de COVID-19, apporte une expertise complémentaire aux médecins.

« Polytechnique Montréal facilite la transition de ces recherches jusqu'au patient, explique le professeur Aubin. Des instituts affiliés, comme TransMedTech, offrent aux chercheurs l'expertise dont ils ont besoin en gestion, en réglementation et en finance pour les aider à la mise en marché de leurs innovations. » Un passage accéléré qui améliorera assurément la qualité de vie de nombreuses personnes.

1940



Le sport constitue le ciment entre les étudiants et les diplômés de Polytechnique. Ceux-ci unissent notamment leurs forces pour former l'une des équipes de hockey les plus redoutables du réseau scolaire québécois.

1948



En raison de la Seconde Guerre mondiale, des centaines de scientifiques vedettes en Europe cherchent du travail. Polytechnique recrute l'un d'eux, le Luxembourgeois Georges Welter. Grâce à lui, Polytechnique produit ses premiers docteurs en génie et devient un lieu de recherche.



Catherine Morency (au centre) et son équipe

## VERS UNE MOBILITÉ RAISONNÉE

**DE** quoi auront l'air nos déplacements dans le futur? Pour les spécialistes de Polytechnique Montréal, ce n'est pas le type de véhicule, mais plutôt la complémentarité entre différents modes de transport empruntés lors d'un déplacement qui jouera un rôle crucial dans notre mobilité.

« Le futur du transport ne sera plus les cyclistes *versus* les automobilistes ou les piétons, affirme Catherine Morency, professeure au Département des génies civil, géologique et des mines. Il sera multimodal et plus raisonné. »

Les ingénieurs s'intéressent aux questions à la fois sociales, environnementales et économiques afin d'en voir les effets sur le transport pour guider la prise de décision. « Le réseau de transport dépend énormément des décisions politiques, ajoute la professeure Morency. Plus on a de bons outils et de bonnes données pour guider les preneurs de décisions, mieux c'est. »

La modélisation est la clé permettant de déterminer les facteurs qui influent sur l'efficacité des transports. « Elle montre l'ampleur de la différence entre la situation actuelle et différents scénarios optimaux », explique Catherine Morency. Parmi les modèles évoqués par la chercheuse, on en trouve un qui conclut qu'entre 20 et 25 % des déplacements au Québec pourraient être faits en marchant ou à vélo, en plus d'indiquer où le potentiel du transport actif est le plus important.

Un autre a montré que, si tout le monde offrait son véhicule personnel en autopartage, on pourrait retirer entre 600 000 et un million de voitures des routes québécoises. « C'est certain que ce sont des scénarios qu'on ne concrétisera pas dans la vraie vie, explique la chercheuse, mais plus les gains qu'on voit dans les modèles sont grands, plus on constate qu'il y a des choses qu'on fait très mal dans la réalité! »

Les ingénieurs font aussi des simulations, notamment dans des plateformes ouvertes, pour évaluer les déplacements sur différents types de réseaux. « Les gros projets de transport en commun sont étudiés sans qu'on connaisse les paramètres qui ont servi à évaluer leurs répercussions sur la demande et l'achalandage, se désole la professeure Morency. Les simulations permettent de faire des comparaisons et de vérifier quelle structure de réseau ou quel changement sur la route engendre le plus grand effet sur les déplacements. Nos partenaires faisant appel à ces simulations ont alors des indicateurs de l'efficacité et de la qualité globale des réseaux avant de transférer les acquis dans la réalité » avec la construction.

En étudiant la complémentarité, mais aussi la compétitivité entre les différents modes de transport, les scientifiques accumulent les données qui feront bouger les choses.



1958

Polytechnique déménage à son emplacement actuel, sur le campus de l'Université de Montréal.

1959



Gabrielle Bodis devient la première diplômée de Polytechnique. Elle fera carrière chez Hydro-Québec, qui nommera l'une de ses deux premières centrales d'énergie solaire en son honneur en 2021.

## POUR UNE INDUSTRIE INTELLIGENTE



Le professeur Thibaut Vidal

**D**ans l'usine du futur, l'intelligence artificielle (IA) aura assurément sa place. Est-ce que son arrivée sera toujours bienvenue? En fait, elle est déjà remise en doute – et à tort!

Car comment un opérateur ou une dirigeante d'entreprise peuvent-ils avoir confiance en un nouveau système qui les invite à faire un geste qui semble contraire à leur intuition? C'est ce qui arrive parfois dans l'industrie. « Les clients avec lesquels nous travaillons demandent pourquoi ils devraient appliquer les solutions offertes par nos systèmes [intelligents], explique Thibaut Vidal, professeur au Département de mathématiques et de génie industriel à Polytechnique Montréal. Avec nos avancées, on peut comparer des solutions entre elles, les expliquer en fonction de leur contexte et trouver les arguments expliquant pourquoi on doit prendre une décision au lieu d'une autre. »

Derrière chaque système qui sait prendre des décisions se cachent des centaines d'algorithmes, chacun donnant une réponse; au bout du compte, c'est la réponse majoritaire qui est proposée à l'utilisateur ou à l'utilisatrice. Or, les algorithmes actuels emploient des millions, voire des milliards de paramètres et, bientôt, on pense que cela sera des billions! « On ne peut pas présenter à un utilisateur un système contenant des milliers de paramètres opaques qui restent hors de sa portée, estime le professeur Vidal. Il existe de nombreuses applications critiques où l'humain veut garder un certain degré de contrôle. »

Simplifier le tout pour permettre à l'utilisateur de mieux comprendre l'origine de la réponse qui lui est donnée représente un immense travail de recherche fondamentale et appliquée qui a cours à Polytechnique Montréal. L'équipe du professeur Vidal travaille à transformer ces systèmes complexes en des systèmes plus simples qui, mathématiquement, prennent les mêmes décisions que les mécanismes complexes.

Pour conquérir l'industrie, l'IA devra aussi faire preuve de flexibilité. En contexte de production, les algorithmes doivent s'adapter à la réalité du terrain et travailler malgré l'incertitude. Des événements imprévus, des bris matériels, des retards dans la chaîne d'approvisionnement : tout cela est aussi fréquent qu'aléatoire en entreprise.

Encore là, des équipes y veillent. « On ajoute des données historiques à nos systèmes pour comprendre les processus de production et faire de meilleures prédictions, poursuit Thibaut Vidal. Avant, on faisait de la prédiction, puis on s'en servait pour optimiser nos systèmes, mais, maintenant, on fait les deux de manière intégrée, ce qui donne de meilleures performances. »

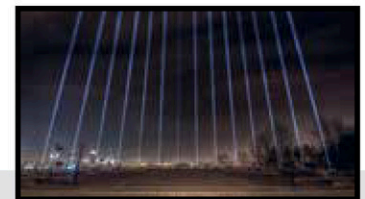
Ces changements permettront de justifier les décisions d'une intelligence artificielle en industrie et ainsi d'augmenter les chances qu'elle soit acceptée pour tout ce qu'elle a à offrir.

### 1968



La profession d'ingénieur civil prend son essor dans les années 1960, stimulée entre autres par les chantiers d'Hydro-Québec. Les diplômés de l'École Polytechnique y jouent un rôle central. C'est le cas de René Levasseur qui, en 1964, devient directeur du chantier de Manic-5 à l'âge de 32 ans. À cette époque et pour de nombreuses années, l'École est la plus grande université de génie du Canada.

### 6 DÉCEMBRE 1989



La tragédie frappe : un attentat antiféministe fait 14 victimes sur le campus. L'événement qui a ébranlé tout le pays n'a toutefois pas découragé les femmes de faire carrière en génie, bien au contraire.



## AUGMENTER LA FIABILITÉ D'UN OUTIL IMPARFAIT

Le professeur Foutse Khomh

**R**emettriez-vous votre vie entre les mains d'un chirurgien ou d'un pilote qui n'a développé son expertise que lors de simulations ? Sauf exception, la réponse à cette question est non. Après tout, il est impossible d'être vraiment fiable sans avoir affronté le réel.

Le risque semble caricatural, pourtant, c'est une situation qu'on trouve dans le monde de l'intelligence artificielle (IA). « Avec les méthodes d'apprentissage actuelles, on n'est tout simplement pas en mesure de généraliser les résultats produits par des systèmes d'intelligence artificielle en dehors de leurs données d'entraînement », explique Foutse Khomh, professeur au Département de génie informatique et génie logiciel à Polytechnique Montréal. En clair : sortez-les de leurs pantoufles et ils peuvent se mettre à faire des erreurs !

Si un certain taux de défaillance est acceptable dans les applications où des vies ne sont pas en jeu, telles que la reconnaissance d'image ou de la parole, pour les domaines où les résultats sont critiques, tels que le diagnostic de cancer ou le contrôle de voitures intelligentes, ça ne passe pas !

Plusieurs scientifiques de Polytechnique Montréal tentent de repenser la façon de concevoir les systèmes intelligents, que ce soit dans la méthode d'apprentissage automatique elle-même, dans la mise au point de techniques pour comprendre les limites actuelles de l'IA ou dans la conception de mécanismes pour pallier les problèmes.

Leur approche est réfléchie. « On voit que certaines équipes dans le monde tentent de régler le problème avec des systèmes

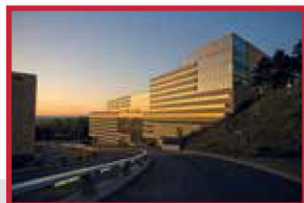
plus gros, des algorithmes plus puissants ou un plus grand éventail de données d'entraînement, poursuit le professeur Khomh. Mais ces méthodes ne sont pas soutenables à long terme, car elles consommeraient beaucoup trop d'énergie et de ressources. »

Le chercheur propose plutôt d'accepter l'IA comme un outil imparfait, mais d'améliorer suffisamment notre compréhension de son enveloppe pour savoir quand elle est digne de confiance et quand elle ne l'est pas. « Dans un de nos plus gros projets, où l'on s'intéresse à l'implantation de l'IA dans l'aérospatiale, on doit démontrer une parfaite traçabilité, c'est-à-dire la preuve que l'on comprend le rôle de chaque instruction, en plus de pouvoir expliquer le processus décisionnel et garantir la protection des données d'entraînement. C'est seulement avec tout cela qu'on pourra garantir un résultat fiable. »

Une mission complexe, car les modèles comportent habituellement des milliers de paramètres. Il faut donc des techniques automatiques pour détecter les failles dans la logique décisionnelle. « Si on s'assure de faire les bonnes vérifications à chaque étape, on peut couvrir tous les problèmes, comme un fromage suisse dont on superposerait plusieurs tranches disposées de manière à ce qu'on ne voie plus à travers les trous. »

Pour le chercheur, ce niveau de fiabilité ne pourra toutefois pas être atteint seulement à l'aide du travail d'ingénieurs et d'ingénieures. « Il faudra aussi des spécialistes des sciences sociales, car les humains utilisent ces systèmes ; des variations culturelles influenceront sur l'utilisation. Il faut prendre en compte toute la diversité humaine si on veut être en mesure d'aider au bien commun. »

**2005**



Les premiers bâtiments durables certifiés LEED d'une université québécoise sont inaugurés ; il s'agit des pavillons Lassonde. En 2006, l'École prend le nom de Polytechnique Montréal.

**2016 et 2017**

Création avec d'autres centres universitaires de l'Institut de valorisation des données (IVADO) et de l'Institut TransMedTech pour stimuler la naissance de projets liés à la science des données et aux technologies médicales, respectivement.

**2021**

Polytechnique Montréal franchit un cap en diplômant, pour la première fois de son histoire, 30,2 % de femmes au baccalauréat en ingénierie en 2020.



La professeure Brunilde Sanso

## ANTICIPER LES BESOINS D'UN RÉSEAU INVISIBLE

**LE** monde de demain sera celui de l'Internet des objets. Ville intelligente, métavers et réalité augmentée seront les piliers qui soutiendront notre monde technologique. Une question s'impose : le réseau pourra-t-il suivre une telle demande de transfert d'information ?

« Si on veut que ces avancées technologiques se réalisent, il faut que l'accès à l'information s'accélère, souligne Brunilde Sanso, professeure au Département de génie électrique de Polytechnique Montréal. Pour cela, il faut surmonter des défis importants en lien avec la performance, la fiabilité et l'impact environnemental du réseau sur lequel circuleront les données nécessaires au fonctionnement de ces technologies. »

Ces enjeux, peu connus du grand public, sont un des champs d'expertise des spécialistes du pôle d'excellence en technologies de l'information et communications à Polytechnique Montréal. Ces scientifiques travaillent aussi à mettre en place et à gérer les réseaux de l'avenir, du matériel physique jusqu'aux applications sur votre cellulaire, en passant par l'utilisation de l'intelligence artificielle pour décrypter leur fonctionnement et leurs limites.

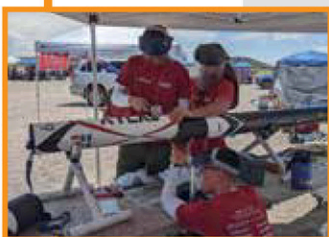
« Pour qu'une conversation vidéo fonctionne naturellement, on peut tolérer un délai d'au plus 150 millisecondes entre le moment où l'information est envoyée et celui où elle arrive sur votre écran, donne comme exemple la professeure Sanso. Le réseau actuel peut y parvenir sans problème. Mais si on veut passer au métavers, où on interagit avec des objets virtuels de façon tactile, le délai maximal pour une bonne expérience devra être de moins de 10 millisecondes. À ces niveaux, même la vitesse de la lumière commence à être une limite. »

Jusqu'à maintenant, le réseau a suivi la demande... mais au prix d'une complexité toujours plus grande, notamment avec l'augmentation continue du nombre d'antennes émettrices, une décentralisation des centres de données, en plus d'une multiplication du nombre de petits fournisseurs gérant chacun sa part d'un réseau toujours plus gourmand en énergie — et donc en émissions de gaz à effet de serre.

C'est dans cette soupe problématique que les travaux d'une chercheuse comme Brunilde Sanso prennent tout leur sens. « L'idée est de prévoir quels seront les effets de différents événements sur la stabilité du réseau avant que ces événements n'aient lieu, explique la scientifique. À l'aide de simulations basées sur des données ouvertes, on entraîne des algorithmes qui peuvent ensuite nous informer, par exemple, des conséquences de l'arrivée d'une nouvelle technologie sur le réseau d'une ville en plus de tester comment différentes optimisations peuvent mitiger ces conséquences. »

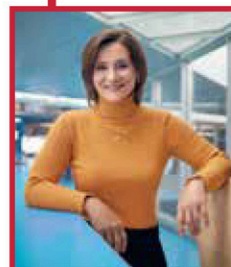
Les informations obtenues sont ensuite utilisées par les fabricants de pièces, les opérateurs de réseau et les concepteurs d'applications afin d'optimiser les performances de leurs produits sur le réseau. « Ce qui est important à la fin de la journée, c'est que ces modifications améliorent l'expérience de l'utilisateur, tout en réduisant l'impact sur l'environnement. » Un jeu de coulisses sur lequel repose une bonne part des promesses d'un monde toujours plus connecté !

### 2022



Les sociétés techniques de Polytechnique Montréal se démarquent en 2022. Le véhicule électrique de Formule Polytechnique Montréal termine au premier rang de la compétition Formula SAE du Michigan. Son pendant solaire, *Esteban 10*, termine au premier rang du classement général au Formula Sun Grand Prix. Enfin, le comité Oronos conserve son titre à la Spaceport America Cup avec sa fusée *Atlas MK II*.

### 2022



Maud Cohen devient directrice générale de Polytechnique. Elle est la première femme à occuper cette fonction depuis la création de l'établissement.

POUR EN SAVOIR PLUS : [WWW.POLYMTL150.CA](http://WWW.POLYMTL150.CA)

# de PÉNURIES MÉDICAMENTS :

ATTENTION FRAGILE

EpiPen, analgésiques pour enfants, pilules contre le diabète, traitements contre le cancer : ces médicaments sont tous essentiels. Mais comme le quart des médicaments en vente au pays, ils ont subi des ruptures d'approvisionnement dans les dernières années. Que se passe-t-il ?

Par Raphaëlle Derome

ILLUSTRATION : SÉBASTIEN THIBAUT  DIRECTION ARTISTIQUE : SOPHIE BENMOUYAL

**A** la télévision, les images de pharmacies aux tablettes vides roulaient en boucle. Dans les chaumières, des parents désespérés tentaient de réconforter leur poupon malade, fiévreux, en pleurs... Plus de deux ans après le début de la pandémie et la grande ruée vers le papier de toilette, les pénuries frappaient encore à l'été et à l'automne 2022. Cette fois, au rayon des analgésiques pour enfants. Sur les réseaux sociaux, plusieurs preneurs pour cette bouteille de Tylenol fraise-banane déjà entamée, offerte par une mère inconnue. Une autre annonçait un scoop : « Le Jean Coutu de la 3<sup>e</sup> Avenue vient d'en recevoir ! »

La récente pénurie d'acétaminophène et d'ibuprofène pour enfants a pris tout le monde de court. À tel point qu'en novembre, le gouvernement fédéral a dû faire venir d'urgence un million de bouteilles de l'étranger. Une situation « exceptionnelle », causée par la triple vague d'infections respiratoires (virus syncytial, grippe et

COVID-19) chez les enfants, concomitante avec le retrait des mesures sanitaires... durant une saison que les fabricants utilisent généralement pour reconstituer leurs stocks.

Si cette crise a frappé les esprits, elle n'est que l'incarnation la plus récente d'un phénomène en croissance partout dans le monde depuis plus d'une décennie. Car à mesure que l'industrie pharmaceutique a consolidé et mondialisé ses activités, les pénuries de médicaments sont devenues plus fréquentes. Elles touchent aujourd'hui toutes les classes de médicaments et tous les pays, avec des conséquences parfois fatales. Et tout le monde s'accorde pour dire que la situation ne se résoudra pas de sitôt. Voici quelques morceaux de ce grand casse-tête.

## PÉNURIES CROISSANTES

Sourire bienveillant, cheveux blancs remontés en chignon, regard vif derrière ses lunettes, Jacalyn Duffin est le genre de médecin que tout le monde voudrait avoir. Si elle a obtenu son diplôme

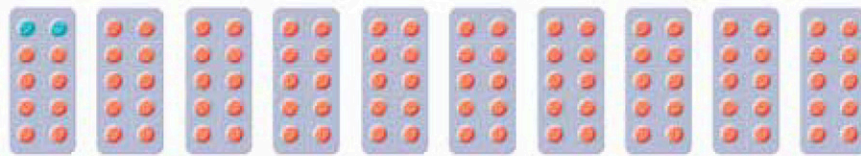
en 1974, ce n'est qu'en 2010 qu'elle a fait face à une pénurie de médicaments. « Une de mes patientes, atteinte d'un cancer du sein métastatique, voulait arrêter la chimiothérapie, car le médicament qu'elle prenait contre les nausées n'était plus disponible. C'était pourtant un vieux médicament, très fiable », raconte l'hématologue de Kingston, en Ontario, aujourd'hui à la retraite.

L'événement l'a mise en colère et l'a incitée à faire des recherches sur le sujet – elle est aussi historienne de la médecine. « J'ai rapidement découvert que le problème était mondial et touchait toutes sortes de médicaments. » Elle fonde alors un blogue, où elle accumule tous les articles portant sur les pénuries au Canada et ailleurs dans le monde. Le résultat est inquiétant.

Si les pénuries font désormais partie de la routine, le grand public ne soupçonne pas l'ampleur du phénomène, qui se déroule la plupart du temps en coulisses. Les ruptures d'approvisionnement touchent pourtant près d'un médicament sur quatre au Canada,



Le Canada représente **2%** du marché mondial des médicaments.



selon une analyse menée entre mars 2017 et septembre 2018 et publiée dans le *Journal de l'Association médicale canadienne*.

La pénurie d'analgésiques pour enfants de 2022 a ceci d'unique qu'elle concernait, pour une rare fois, des médicaments en vente libre. « Les gens ont vu les tablettes vides, alors qu'habituellement, elles sont cachées derrière le comptoir du pharmacien », constate Jacalyn Duffin.

Qui plus est, elle a touché les enfants. « Tout ce qui affecte les enfants déclenche un tollé général, et c'est justifié, dit celle qui est mère et grand-mère. Mais les gens ne réalisent pas qu'en ce moment, au Canada, 1800 médicaments sont disponibles en quantités insuffisantes! Y compris des médicaments pour des maladies du cœur, le Parkinson, la dépression sévère... La différence est que les personnes âgées, malades et handicapées n'ont personne pour les défendre. »

Les pénuries ne sont pas toutes critiques. Dans la majorité des cas, il s'agit de médicaments génériques à fournisseurs multiples : des équivalents sont donc disponibles. Mais le nombre et la durée des ruptures (155 jours en moyenne, selon l'étude citée plus haut) démontrent à quel point les chaînes d'approvisionnement sont devenues fragiles dans le domaine pharmaceutique.

Pour formuler un médicament, il faut synthétiser l'ingrédient actif à partir de précurseurs chimiques. Il faut aussi des excipients (liants, diluants, agents de conservation, colorants, édulcorants...) et des matériaux d'emballage (seringues, fioles, bouteilles stériles). « Et tout ça est souvent fabriqué à différents endroits dans le monde, explique Bertrand Bolduc, président de l'Ordre des pharmaciens du Québec.

Les précurseurs de synthèse en Chine, les ingrédients actifs en Inde, la fabrication en Europe. Et l'emballage final dans un autre endroit. Un problème se répercute sur toutes les autres étapes. »

Outre les problèmes et les imprévus, l'approvisionnement est aussi fragilisé par l'implacable réalité du marché. Certaines décisions d'affaires sont prises dans l'intérêt des actionnaires davantage que dans celui des malades...

### TROUVER DES SOLUTIONS

Pénurie ou pas, dans la pharmacie de l'hôpital Notre-Dame, à Montréal, les pilules pullulent! En ce lundi de novembre, une quarantaine de pharmaciens, pharmaciennes et membres du personnel technique se relaient jour et nuit pour recevoir les ordonnances et préparer les médicaments des malades. « On utilise entre 3800 et 4000 médicaments différents », dit Visal Uon, chef pharmacien de l'hôpital.



C'est le nombre de médicaments d'ordonnance et en vente libre approuvés au Canada.

Entre les murs beiges de l'édifice quasi centenaire trônent deux appareils ultramodernes de la taille d'une machine distributrice. Le premier, une ensacheuse, contient 500 casiers – un pour chacun des médicaments les plus populaires. Elle les ensache automatiquement selon les ordonnances de chaque patient. Le résultat s'apparente

à une guirlande de plastique transparent, contenant les pilules pour 24 heures. Celle-ci est insérée dans le second appareil, une valideuse dotée de vision artificielle. L'ordinateur reconnaît automatiquement la forme et la couleur de chaque comprimé à travers le sachet. « Ça diminue beaucoup le taux d'erreur », explique Visal Uon. Ces sachets et tout autre médicament nécessaire sont ensuite placés dans un tiroir sur le chariot destiné à chaque étage.

Les pénuries viennent compliquer ce système bien rodé. Lorsque les ampoules de magnésium de 10 millilitres ne sont plus disponibles, l'hôpital peut certes se rabattre sur celles de 50 millilitres. Mais c'est plus de manipulations pour les techniciennes de la salle stérile. Derrière la vitre, chacune est assise sous une hotte. Portant bonnet, masque, blouse et gants de latex, elles subdivisent patiemment le contenu des fioles afin d'éviter le gaspillage.

Visal Uon assure une vigie 7 jours sur 7 pour réorienter ses équipes rapidement lorsque des médicaments viennent à manquer. « Tu es mieux de t'organiser que de te faire organiser... » croit celui qui a 38 ans d'expérience dans les pharmacies d'établissements et qui siège à plusieurs comités de travail. « Je me tiens au courant de tout, on se parle beaucoup avec les grossistes, avec le Ministère [de la Santé et des Services sociaux]. »

Chaque semaine, une liste des médicaments « à surveiller » (en rupture de stock ou qui pourraient le devenir) est distribuée dans le réseau de la santé. Le Centre d'approvisionnement gouvernemental, organisme qui gère une bonne partie des contrats d'achats de médicaments, fait appel à une équipe de pharmaciens-conseils pour suggérer des substitutions. « Ou bien on consulte les associations médicales pour voir ce qu'elles recommandent, dit Visal Uon. Mais, au bout du compte, chaque hôpital doit prendre sa décision au comité de pharmacologie. On s'habitue à prendre des décisions rapidement. »

Le mot d'ordre quand un médicament n'est plus disponible? D'abord vérifier avec d'autres établissements s'ils en ont encore. En cas de pénurie avérée, « on regarde avec le fabricant s'il est

sécuritaire de prolonger l'utilisation d'un médicament après sa date de péremption », dit Visal Uon – avec le consentement des malades, bien sûr. Bref, on se démène.

## QUELLES CONSÉQUENCES ?

La débrouillardise ne suffit pas toujours : il arrive qu'un médicament ne soit tout simplement plus disponible en quantité suffisante. Mais difficile de dire combien de personnes ont vu leur santé compromise en raison d'une pénurie. Santé Canada ne compile pas ce type de données.

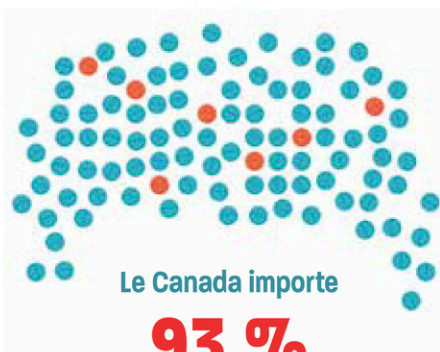
C'est pareil ailleurs dans le monde. « Les effets des pénuries sur le système de santé ou les patients ne sont pas mesurés de manière systématique », remarque Jonathan Phuong, en visio-conférence depuis l'Australie. Dans le cadre de ses études en pharmacie à l'Université de Sydney, il a synthétisé une quarantaine d'études sur le sujet, provenant de divers pays, dans la revue *PLOS ONE*. « Les pénuries affectent les patients de toutes sortes de manières », déplore-t-il.

Il y a d'abord les conséquences cliniques. Apparition d'effets indésirables ou d'interactions médicamenteuses lorsqu'on remplace un médicament par un autre ; erreurs de dosage, car le personnel n'est pas familiarisé avec le nouveau médicament ; aggravation d'une maladie chronique ; report d'examen, de traitements ou de chirurgies ; séjours à l'hôpital plus longs. Ce sont quelques-uns des risques cités par les spécialistes. On évoque même des décès attribuables au phénomène.

Les effets des pénuries sont aussi financiers : le médicament de remplacement est parfois beaucoup plus cher. Et les ruptures de stock ralentissent même la recherche médicale : des dizaines de protocoles de recherche ont été compromis parce que le médicament étudié n'était plus disponible...

Enfin, il y a le coût humain. « Je me souviens d'un patient qui s'était disputé avec sa femme parce qu'ils allaient de pharmacie en pharmacie à la recherche d'ibuprofène, qui est pourtant l'un des médicaments les plus courants. Mais il avait tellement mal à cause de sa goutte [une forme d'arthrite] qu'il se fâchait

contre tout le monde, y compris sa femme », raconte Jonathan Phuong, qui a interviewé plusieurs patients et patientes lors d'un deuxième projet de recherche, mené aux îles Fidji. D'autres lui ont raconté avoir dû prendre un deuxième emploi ou quémander de l'argent à leur entourage pour payer un médicament de remplacement. Certains ont aussi évoqué la culpabilité ressentie à l'égard de leur enfant malade, pour qui les médicaments nécessaires étaient inaccessibles. « Il ne devrait pas être aussi difficile, dans une société moderne, de se procurer des médicaments vitaux », croit Jonathan Phuong.



Le Canada importe  
**93 %**  
de ses médicaments  
génériques. Il y a 10 ans,  
c'était 74 %.

Source : IBISWorld

Les pénuries ont quelquefois un effet positif : elles facilitent des changements nécessaires dans les pratiques médicales. Ce fut le cas en Australie en 2017, quand une rupture d'approvisionnement a forcé le personnel du John Hunter Hospital de Newcastle à remplacer un antibiotique par un autre. Sur 12 mois, certaines infections nosocomiales ont chuté de manière importante, ce qui a poussé l'hôpital à conserver cette façon de faire même après la pénurie.

Le pharmacien Jonathan Phuong évoque aussi le cas des rhumes, contre lesquels beaucoup trop de médecins prescrivent encore des antibiotiques, même si c'est tout à fait inefficace (les antibiotiques attaquent les bactéries, alors que les rhumes sont causés par des virus). « Les médecins sont plus réceptifs quand on leur dit que l'antibiotique n'est

pas disponible que quand on essaie simplement de les convaincre que ce n'est pas approprié pour le patient... »

## UNE LISTE ESSENTIELLE

Dès 2012, l'Ordre des pharmaciens du Québec sonnait l'alerte dans un rapport-choc dénonçant une « situation sans précédent » aux « conséquences graves » pour des produits pourtant vitaux. Onze ans plus tard, il y a eu quelques améliorations. « Il y a plus de transparence qu'avant », reconnaît Bertrand Bolduc, président de l'Ordre. Notamment grâce à un site Web créé par Santé Canada en 2012, sur lequel les fabricants déclarent les pénuries de médicaments d'ordonnance, une démarche obligatoire depuis 2017. « Santé Canada est aussi meilleure qu'avant pour importer des médicaments dans des cas d'urgence. »

Toujours en 2012, Ottawa a créé un Comité directeur multilatéral, qui facilite l'échange d'information et la collaboration entre Santé Canada, les provinces et territoires, l'industrie et les associations de professionnels de la santé ou de patients. Enfin, le ministère fédéral préside un groupe international (regroupant les États-Unis, le Royaume-Uni, le Japon, l'Australie, l'Union européenne et l'Organisation mondiale de la santé) qui « discute de pénuries de médicaments préoccupantes ainsi que de questions stratégiques et politiques pertinentes », précise un porte-parole.

On pourrait tout de même faire beaucoup mieux pour garantir la sécurité pharmaceutique du Canada, croit le D<sup>r</sup> Shoo Lee, de l'Université de Toronto, qui cosignait une analyse sur le sujet en août 2022 dans le *Journal de l'Association médicale canadienne*. « Actuellement, on se rabat sur des options de deuxième choix, alors qu'on devrait offrir le meilleur à nos patients ! » proteste en entrevue l'éminent néonatalogiste.

Selon le D<sup>r</sup> Lee, la première étape serait d'établir une liste de médicaments essentiels. Avec cet outil, on pourrait forcer ou encourager les fabricants, les grossistes ou les pharmacies à conserver des stocks minimaux, ou mieux garnir la Réserve nationale stratégique d'urgence.

## QU'EST-CE QUI CAUSE LES PÉNURIES DE MÉDICAMENTS ?

Usines vieillissantes sujettes  
à des problèmes de salubrité  
ou de conformité

Retards de livraison  
d'un ingrédient  
ou d'un produit fini

Crises géopolitiques  
ou catastrophes naturelles

Changements réglementaires  
qui influent sur la fabrication  
ou sur les décisions des fabricants

Cycle de vie des médicaments,  
comme l'expiration d'un brevet,  
qui fait baisser la valeur

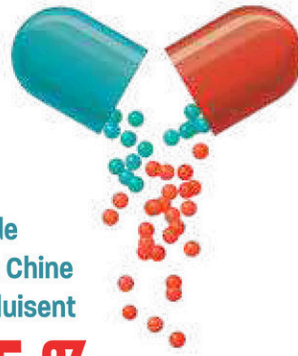
Popularité croissante  
des médicaments dits biologiques  
(produits par des organismes vivants),  
qui sont plus difficiles à fabriquer,  
à entreposer et à transporter

Hausse de la demande mondiale  
causée par le vieillissement  
de la population des pays riches  
et l'enrichissement des pays  
à revenu faible et moyen

Effets de mode

Entreposage compulsif provoquant  
une pénurie « artificielle »

Effet domino :  
quand un médicament tombe  
en pénurie, tout le monde  
se rabat sur ses substituts



L'Inde  
et la Chine  
produisent  
**65 %**  
des ingrédients actifs  
à l'échelle mondiale.

L'Organisation mondiale de la santé propose une telle liste depuis 1977. Elle compte aujourd'hui 591 médicaments. À l'échelle mondiale, 137 pays ont créé leur propre liste. Étonnamment, beaucoup des pays les plus développés n'en ont pas – c'est le cas du Canada. Les États-Unis ont adopté la leur en 2020 : elle comprend 227 médicaments et 96 équipements médicaux qui doivent être disponibles en tout temps en quantité suffisante. « Ça ne serait pas très compliqué de s'inspirer de leur liste... » fait valoir le Dr Lee.

Au Québec, un premier pas a été franchi : depuis la pandémie, le gouvernement demande aux pharmaciens d'hôpitaux de stocker de 1 à 3 mois de certains médicaments essentiels.

Des stocks minimaux seraient plus difficiles à imposer aux Familiprix, Brunet et Pharmaprix de ce monde, puisque les commandes varient beaucoup d'une pharmacie à l'autre, explique Bertrand Bolduc, président de l'Ordre des pharmaciens du Québec. Il fait plutôt valoir la volonté de satisfaire la clientèle et « l'entraide phénoménale » entre pharmaciens : « Il y a un groupe Facebook privé qui regroupe 9000 pharmaciens, toutes bannières confondues. Si quelqu'un manque de quelque chose, il publie un message et, en quelques minutes, ça se règle. C'est capoté ! »

Plus en amont, il est également temps de s'intéresser davantage à la robustesse des chaînes d'approvisionnement, affirment plusieurs experts. Au Québec, le Centre d'acquisitions gouvernementales fragmente déjà ses appels d'offres de manière à avoir deux fournisseurs pour certains médicaments... mais « nous ne pouvons pas demander [aux fournisseurs] de prouver que la provenance de

leur produit est différente de celle des autres soumissionnaires potentiels [...] ces informations étant de nature sensible ou confidentielle », indique l'organisme par courriel. Résultat : en cas de pénurie, on pourrait malheureusement constater que le deuxième fournisseur s'approvisionnait à la même usine que son concurrent...

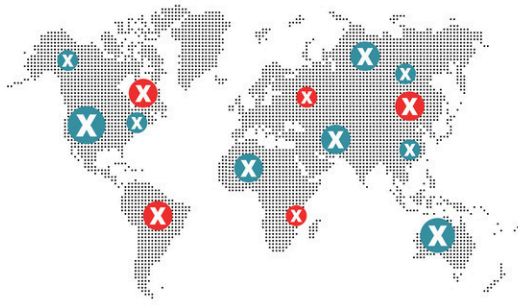
### LE RETOUR DU LOCAL ?

À plus long terme, les experts pensent qu'il faudra trouver des façons d'encourager la production locale de médicaments. Mais gare aux initiatives à courte vue, prévient Martin Beaulieu, chercheur en logistique hospitalière à HEC Montréal. Il rappelle qu'à la fin des années 1980, la crainte du sida a provoqué une forte hausse de la demande pour les gants de latex. Des usines ont ouvert ici, mais ont fermé les unes après les autres à mesure que les fournisseurs étrangers à bas prix ont obtenu les contrats. « Produire localement, je ne sais pas jusqu'à quel point c'est soutenable à long terme. On ne peut pas occulter la question des coûts. Il faut avoir une réflexion un peu plus nuancée et mieux calibrer les stratégies. »

S'il est peu réaliste de devenir 100 % autosuffisants en médicaments, les gouvernements pourraient, par exemple, créer une société d'État ou subventionner certains fabricants pour les encourager à produire certains médicaments au pays, suggère Shoo Lee. Autrement dit, ne plus se fier aux seules lois du marché pour remplir les tablettes...

De nouveaux procédés chimiques pourraient d'ailleurs favoriser la fabrication locale de médicaments. C'est le cas de la synthèse à flux continu, de plus en plus courante dans l'industrie pharmaceutique. Plutôt que de fabriquer les ingrédients actifs par lots successifs dans de gros réacteurs de 200 litres, on pompe les réactifs en continu dans des chambres de 10 ou 100 millilitres.

Les quantités en jeu étant faibles, cela augmente la sécurité et la rapidité du procédé, sans nécessiter de gigantesques usines. L'empreinte environnementale est aussi réduite. « Le flux continu est très flexible, ce qui permet de remanier facilement la chaîne de production en temps de crise », fait valoir Vanessa



Une étude de 14 pays montre que les signalements de pénuries ont augmenté de 60 % entre 2017 et 2019.

Source : OCDE

Kairouz, coordonnatrice scientifique du Centre de synthèse en flux continu de l'Université de Montréal.

Dans le cadre d'un projet financé par l'initiative Médicament Québec, l'équipe d'André Charette, professeur de chimie à l'Université de Montréal, recense les molécules essentielles les plus intéressantes à fabriquer ici, puis développe les « recettes » en flux continu. Mais le laboratoire universitaire ne fait que la recherche. C'est une entreprise accréditée par Santé Canada qui devra ensuite fabriquer ces médicaments.

Difficile, toutefois, de faire concurrence à la Chine et à l'Inde en matière

de coûts, vu leurs normes plus faibles en matière de travail et de protection de l'environnement. « Un des modèles qui pourrait fonctionner pour qu'une entreprise soit viable, c'est que le gouvernement garantisse d'acheter sa production », évoque André Charette.

Pour le moment, Ottawa a encouragé plusieurs initiatives visant la production nationale de vaccins et la préparation aux pandémies. Mais le Canada n'a pas encore de stratégie nationale de sécurité pharmaceutique. Chose certaine, il faudra combiner plusieurs approches, dont certaines pourraient augmenter les coûts. « La société

pourrait probablement accepter un compromis entre sécurité d'approvisionnement et prix », écrivent D<sup>r</sup> Lee et ses coauteurs.

Vu la complexité et la mondialisation du marché pharmaceutique, le Canada devra vraisemblablement agir en concertation avec d'autres pays pour renforcer les approvisionnements en médicaments, font valoir les experts.

On peut donc s'attendre à ce que les pénuries de médicaments soient avec nous pour un certain temps, prévoit Jonathan Phuong. Sa recommandation ? « Soyez patients avec vos professionnels de la santé... » ●

## LES ÉNIGMES QUANTIQUES

# EXPLOREZ LE MONDE DE L'INFORMATIQUE QUANTIQUE!

L'Institut quantique de l'Université de Sherbrooke vous invite à découvrir le monde extraordinaire de la programmation quantique par l'entremise d'une série originale animée : **Les Énigmes quantiques**.

Plongez dans cet univers scientifique fascinant et testez votre logique.

Saurez-vous relever le défi?

➔

# QUÉBEC AVEC LE FEU

Rien de tel qu'un gigantesque chaudron pour faire fondre de la roche et réaliser des coulées de lave expérimentales. Visite au Syracuse Lava Project, une fusion inédite entre l'art et la science.

PAR RAPHAËLLE DEROME

PHOTOGRAPHIES : MAXIM MORIN

**LE** courriel que *Québec Science* attendait depuis des mois est arrivé un lundi soir à 21 h 26 : « La fournaise est en marche. Si elle continue de fonctionner, nous aurons une coulée de lave demain soir. » Dès le lendemain, voici donc la journaliste et le photographe sur la route, en direction de l'État de New York, pour assister à une démonstration hors du commun.

Depuis 2009, le sculpteur Robert Wysocki et le géologue Jeff Karson fabriquent, quelques fois par an, des centaines de kilos de lave sur le campus de l'Université de Syracuse. De la vraie lave, faite de roche basaltique chauffée pendant des heures à plus de 1300 degrés Celsius.

Un projet qui allie l'art et la science, pour faire connaître à la communauté étudiante et au grand public la beauté de la roche en fusion et les processus physiques et chimiques en jeu. Cet équipement scientifique unique permet également d'étudier en détail le comportement de la lave et les formes diversifiées qu'elle prend en refroidissant. Qu'arrive-t-il si la lave s'écoule sur une pente plus ou moins prononcée ? Si on la déverse d'un seul coup ou petit à petit ? Dans quelles conditions formera-t-elle des rides, des bourrelets, des coussins ? Ici, les volcanologues peuvent tester tout ça, dans un environnement contrôlé et sécuritaire !

## LE MORDOR DU STATIONNEMENT

Le soir tombe déjà lorsque nous traversons le centre-ville de Syracuse, puis quelques quartiers industriels et résidentiels ayant connu des jours meilleurs. Le pavillon des arts, moderne mais coquet, est situé à l'écart de l'agitation du campus principal, en face d'un cimetière. Le four à lave passe l'année dehors, abrité sous des bâches, dans la grande entrée de garage qui jouxte le bâtiment de briques brunes.

Dès notre sortie de la voiture, nous entendons le souffle puissant et continu de la flamme de gaz naturel. Le grondement sourd et la lueur rougeoyante qui s'échappent de l'appareil font penser au volcan du Mordor du *Seigneur des anneaux*.

Coiffé de sa casquette à l'effigie des équipes universitaires locales, les Orange, le souriant Jeff Karson nous invite à nous abriter de la pluie dans l'atelier de sculpture attenant au four. « C'est Bob qui a découvert comment fabriquer de la lave, raconte Jeff Karson, en désignant son collègue, qui dirige la Faculté des arts. Quand nous avons commencé, il n'y avait pas de recette. » « On a appris à la dure ! » confirme Robert « Bob » Wysocki.

Le sculpteur et professeur Robert Wysocki déversant la roche fondue à plus de 1300 °C. Plus la lumière est vive, plus la température de la lave est élevée.





**Au fil des ans, des milliers d'étudiants en art et en géologie ont pu assister aux démonstrations du Syracuse Lava Project. Et des volcanologues viennent de partout pour y réaliser des expériences.**

Un petit groupe d'étudiants en art, en design et en sciences de la Terre arrive progressivement dans l'atelier. « Voici ce que nous utilisons, dit le professeur en brandissant une poignée de fin gravier noir. C'est de la lave ancienne, du basalte du Wisconsin, âgé d'un milliard d'années! » Le basalte, c'est ce qui sort des entrailles de la Terre le long des dorsales océaniques [chaînes de volcans sous-marins des grands fonds]. Ou lors d'éruptions en Islande ou à Hawaï – comme en novembre dernier, quand le célèbre volcan Mauna Loa s'est réveillé après 38 années de repos.

D'autres roches, même une fois fondues, seraient beaucoup trop visqueuses pour s'écouler correctement du four.

Robert Wysocki enfile un manteau de protection et des cache-bottes d'aluminium. Le visage caché derrière une visière plaquée or, il ressemble à un sorcier du futur. « Il ne pleut pas trop fort, je crois qu'on peut sortir », dit Jeff Karson. Le spectacle va commencer. Sous leurs parapluies, les jeunes s'approchent du four. « Vous pouvez prendre des photos, mais n'approchez pas, c'est très chaud! » met en garde le géologue.

Robert Wysocki actionne le treuil : tac tac tac tac... la fournaise s'incline lentement. D'un coup de barre de fer, Robert Wysocki ouvre une petite porte et déclenche la coulée de lave. Un jet lumineux jaune brillant se répand sur le sable que l'équipe a étalé au sol. À son

contact, la flaque orangée est secouée de pustules qui atteignent rapidement la taille d'un petit pamplemousse.

« Regardez ces bulles! » s'exclame Jeff Karson. Plus les bulles gonflent, plus elles sont lumineuses, tirant vers le jaune et le blanc, avant d'éclater comme une ampoule électrique. Les confettis de verre s'élèvent en tournoyant dans la nuit au-dessus du magma rougeoyant. Féérique!

La lave continue à s'accumuler, mais les bulles se calment : l'eau s'est entièrement évaporée au contact de la première coulée. Jeff Karson poursuit la leçon en désignant la coulée à différents endroits. « La lave sort à 1100 °C. Lorsqu'elle est "orange Syracuse", elle est à 1000 °C. Et quand elle devient noire, elle est à 800 °C. »

Ganté de cuir, le professeur se penche vers l'embouchure du creuset pour saisir de minces filaments de lave solidifiée. « Quand le vent souffle, la lave s'étire comme des cheveux! Vous voyez? On les appelle les cheveux de Pélé, la déesse hawaïenne des volcans. Vous pouvez y toucher, ce n'est pas chaud », assure le professeur aux étudiants fascinés, mais un peu craintifs. « Plus c'est mince, plus ça refroidit vite. » Les étudiants se détendent. « C'est tellement cool! »

### IRRÉSISTIBLE LAVE

C'est en 2009 que Robert Wysocki a entrepris de fabriquer sa propre lave, après avoir assisté à une démonstration

de fonderie d'art. Pendant que les artistes faisaient couler du fer en fusion dans des moules, Robert Wysocki remarqua plutôt les impuretés qui flottaient et s'échappaient par un orifice sur le côté du creuset comme de la mélasse. En refroidissant, elles avaient formé « une parfaite petite coulée de lave, semblable à du verre. J'ai passé deux semaines à regarder ce truc », raconte-t-il.

Fasciné, il cherche comment reproduire l'expérience, mais ne trouve sur le Web que des articles provenant de Russie, d'Inde ou de Chine, qu'il déchiffre sur Google Translate. Après moult discussions, il convainc son collègue Jeff Karson, professeur de géologie, de l'aider à monter ce projet interdisciplinaire. « Il pensait que j'étais fou », se rappelle le sculpteur né en Californie.

Ils achètent leur four oscillant non loin de Montréal, chez un récupérateur de matériel de fonderie usagé. Ni le vendeur de fours ni les installateurs du système au gaz ne veulent conseiller les professeurs sur la marche à suivre, craignant d'être tenus responsables en cas d'accident. Robert Wysocki estime avoir mis deux ans pour vraiment comprendre comment utiliser l'appareil.

Le secret? Choisir le bon type de roche et l'ajouter petit à petit pour éviter les débordements. Le basalte contient 1,25 % d'eau emprisonnée dans ses cristaux. La chaleur brise les liaisons chimiques, ce qui libère l'eau et facilite la fusion de la roche. Sauf que cela forme



Au contact du sable mouillé par la pluie, la lave se gonfle de bulles. Les plus grosses d'entre elles, aux parois très minces, finissent par éclater.



Pour se protéger de la chaleur, « Lava Bob » porte un tablier à manches longues, des couvre-bottes, des gants, un casque et une visière faits de matériaux réflecteurs.



La lave se solidifie rapidement en refroidissant, figeant les formes en place.



Le géologue Jeff Karson ne se lasse pas d'observer la variété des formes créées par chaque coulée de lave. Le résultat final dépend de plusieurs paramètres : composition de la roche, quantité de lave déversée, pente, matériau récepteur (sable, neige, glace...), etc.



Une fois refroidie, la lave ne ressemble plus à de la roche mate et poreuse, mais à des tessons de verre opaque d'un noir profond.

des bulles dans le chaudron. « C'est comme faire bouillir du lait : le volume peut doubler ou tripler soudainement ! » explique Robert Wysocki.

Maintenant qu'il maîtrise la méthode, « c'est comme utiliser une mijoteuse : je la démarre et, quand je reviens, huit heures plus tard, c'est prêt ! Mais au début, je passais des nuits entières à surveiller l'équipement », explique celui qu'on surnomme désormais « Lava Bob ».

Au bout d'une dizaine de minutes de coulée sous l'appareil de notre photographie surexcité, la mijoteuse est vide. La lave n'est presque plus incandescente, mais gare à qui oserait y toucher à main nue avant le lendemain !

Reste qu'en raison de leur petite taille, ces coulées expérimentales refroidissent beaucoup plus vite que les coulées naturelles. La lave n'a pas le temps de former des cristaux et présente donc un aspect vitreux une fois refroidie. Elle sera alors facile à casser, et les tessons pourront retourner dans la fournaise lors d'une démonstration suivante. « Nous utilisons généralement un mélange de basalte vierge et de basalte recyclé des expériences précédentes. Puisqu'elle ne contient pas de cristaux, la lave recyclée fond très facilement », précise Jeff Karson.

Les étudiants s'apprentent à repartir. « Monsieur, pour les points bonus... » « Le quiz sera en ligne ! » répond le professeur.

### EXPÉRIENCES ANALOGUES

La fine maîtrise du processus par l'équipe – et la taille colossale du four – permet à des volcanologues du monde entier de réaliser des expériences cruciales, impossibles ailleurs. « Traditionnellement, il y a deux approches en volcanologie, explique Jeff Karson. Quand vous étudiez un volcan actif, c'est dangereux. Vous êtes en région isolée, vous ne savez pas ce qui va se produire, vous ne contrôlez rien, mais vous pouvez observer, documenter. Et en laboratoire, vous pouvez travailler sur de petits volumes de matériaux fondus pour tester différentes viscosités, par exemple. Ici, nous sommes quelque part entre ces deux approches. »

La volcanologue de la North Carolina State University Arianna Soldati a pu tester à Syracuse l'effet de la présence de bulles de gaz sur la consistance de la lave. En mélangeant du basalte vierge et recyclé en différentes proportions, la spécialiste produit des laves plus ou moins riches en bulles. Des recherches impossibles à mener dans son

laboratoire. « Mon creuset ne mesure que quelques centimètres, alors les bulles s'échappent avant même que l'expérience commence ! À Syracuse, il reste beaucoup de bulles même après plusieurs heures de chauffage. » Elle a ainsi pu montrer que, dans certains cas, les bulles ralentissent l'écoulement, alors que, dans d'autres, elles l'accélèrent.

Déterminer jusqu'où la lave pourrait s'écouler et à quelle vitesse est essentiel pour gérer les risques. « À travers le monde, 500 millions de personnes vivent à proximité de volcans. En cas d'éruption, nous devons savoir quelles zones sont à risque et de combien de temps on dispose pour les évacuer », indique Arianna Soldati.

D'autres scientifiques ont pu documenter l'évolution d'une coulée en trois dimensions à l'aide d'un agencement de caméras haute résolution, vidéo et infrarouge. On a même testé l'efficacité de différentes barrières physiques pour bloquer un flot de lave.

Car une coulée de lave est un système extrêmement complexe. « Ce n'est pas une coulée d'eau, souligne le volcanologue Glyn Williams-Jones, de l'Université Simon Fraser, en Colombie-Britannique. Au fur et à mesure que la lave s'écoule, sa composition change.

Plus elle refroidit – un processus qui s'échelonne sur des jours, des mois ou des années dans le cas des coulées très épaisses –, plus les gaz volcaniques s'échappent et plus des cristaux se forment à l'intérieur. Elle devient plus visqueuse et ralentit... Surtout sur les marges, alors que le centre, plus chaud, reste plus fluide. »

Le chercheur n'a jamais réalisé d'expériences à Syracuse, mais connaît bien le travail qui se fait là-bas et s'en sert pour mieux comprendre ce qu'il observe sur le terrain. « Les approches expérimentales, les modèles numériques et les observations de terrain sont très complémentaires. »

Les coulées de lave sont encore plus complexes lorsqu'elles se déroulent sur la neige ou la glace, comme c'est le cas pour plus de 200 volcans terrestres, notamment en Islande, au Kamtchatka (Russie), en Alaska... « On pourrait croire que la neige et la glace fondraient instantanément, mais ce n'est pas le cas.

Le transfert de chaleur prend un certain temps, il faut beaucoup d'énergie pour faire fondre les cristaux de glace », explique Ben Edwards, volcanologue au Dickinson College, en Pennsylvanie. À Syracuse, il a pu mesurer précisément les distances d'écoulement, les taux de fonte de la glace, de refroidissement de la lave.... Des mesures presque impossibles à prendre sur le terrain.

### S'AMUSER AVEC LA LAVE

« Quand des enfants du primaire viennent, raconte Jeff Karson, on leur fait lancer des boules de neige sur la lave brûlante. Elles résistent pendant plusieurs minutes sans fondre, c'est fou ! » Il a aussi déjà versé de la lave sur une pomme : « La lave refroidit au contact de la pomme et l'enrobe sans même la cuire ! C'est génial comme méthode pédagogique. »

« J'espère toujours qu'un d'entre eux décidera de faire carrière en science au lieu d'aller en administration... » rêve

Robert Wysocki. Et pourquoi pas en art ? « Oui, j'espère qu'ils se rappelleront qu'on ne passe pas nos journées assis à peindre. Les artistes ont toujours été des innovateurs. »

À preuve, le maître de la lave a même fait une performance à la Nuit Blanche de Toronto et a contribué à créer deux « spectacles de lave » pour touristes en Islande. « J'ai fait plus de 2000 coulées de lave et, chaque fois, j'en ai le souffle coupé », confie-t-il.

De retour au pied du four le lendemain matin, nous constatons que la flaque de lave solidifiée a disparu, probablement jetée dans le chaudron par Lava Bob. Du spectacle hypnotisant de la veille, il ne reste plus que quelques tessons noirs sur le lit sablonneux, comme des restes d'un feu de camp. Le four gronde toujours quand nous remontons en voiture. D'autres que nous assisteront à la coulée prévue ce soir-là. Dix heures de route, pour dix minutes de lave ? Le jeu en aura valu la chandelle ! ●

Plus de  
**20 000\$**  
en argent et  
en stage

Tente ta chance  
toi aussi, ça peut  
changer ta vie !



# BOURSE FERNAND- SEGUIN 2023

pour la relève en journalisme scientifique

Date limite : 12 mars 2023  
Information et participation : [acs@acs.qc.ca](mailto:acs@acs.qc.ca)

PRÉSENTÉE PAR :
























Image prise au printemps 2022, lors du rodage de James-Webb, par le détecteur de guidage de précision (FGS). Ce système mis au point par l'Agence spatiale canadienne sert à viser les cibles, mais peut aussi fournir des images. Ici, l'étoile HD147980 et des milliers de galaxies, en fausses couleurs.

# DANS L'OEIL DU NIRISS

L'instrument NIRISS, embarqué à bord du télescope spatial James-Webb, a été conçu au Canada. Ses premières données sont très prometteuses.

Donnera-t-il un nouveau souffle à la recherche de vie extraterrestre ?

**PAR CHLOÉ BOURQUIN**

**L**es premières photos prises par le télescope spatial James-Webb, diffusées en 2022, ont émerveillé le monde entier par leur beauté. Mais à l'Institut Trottier de recherche sur les exoplanètes (iREx), qui regroupe des chercheurs et des chercheuses de l'Université de Montréal et de l'Université McGill, ce sont des données passées un peu plus inaperçues aux yeux du grand public qui ont causé l'émoi : les premiers spectres fournis par l'imageur et spectrographe sans fente NIRISS (pour *Near-Infrared Imager and Slitless Spectrograph*), l'un des quatre instruments scientifiques embarqués à bord de James-Webb. « Ces résultats préliminaires nous montrent toute la puissance du télescope pour étudier les exoplanètes », affirme le directeur de l'iREx, René Doyon, également professeur au Département de physique de l'Université de Montréal.

Ce n'est pas de l'orgueil de sa part, bien qu'il ait codirigé l'équipe qui a conçu cet outil : le NIRISS est vraiment performant ! Sa précision et sa sensibilité sont telles que l'on peut



Le NIRISS et le détecteur de guidage de précision en cours de réglage, avant le montage de James-Webb, dans la salle blanche du centre de vol spatial Goddard de la NASA

réussir à déterminer la composition chimique de l'atmosphère des exoplanètes. Le NIRISS devrait donc donner un nouveau souffle à l'étude de ces dernières, et surtout à la recherche de signatures témoignant d'une éventuelle activité biologique. Un coup de pouce pour trouver de la vie extraterrestre, en somme !

Depuis la découverte de la toute première exoplanète en 1995, il ne se passe pas un mois sans que l'on en découvre une nouvelle, et l'on atteint aujourd'hui plus de 5200 planètes confirmées par la NASA. James-Webb a récemment apporté sa première contribution à cette chasse de grande envergure, en confirmant l'existence

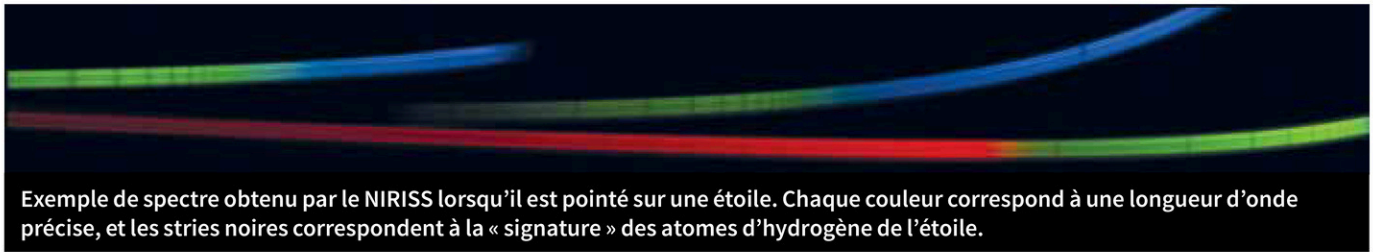
en janvier dernier de LHS 475 b, située à 40 années-lumière de la Terre. À la base, « ce télescope n'avait pas vraiment été conçu pour étudier les exoplanètes, rappelle Björn Benneke, professeur à l'Université de Montréal et chercheur à l'iREx. L'objectif était d'observer des objets très lointains et très sombres : on n'avait pas prévu d'observer des étoiles vraiment proches de nous, qui sont très brillantes. Au Canada, on a décidé de changer légèrement le design du NIRISS pour pouvoir également observer ces étoiles, et donc leurs exoplanètes. »

### DEVANT SON ÉTOILE

Le NIRISS possède quatre modes, qui lui permettent d'étudier le rayonnement

dans le proche infrarouge de différents objets célestes et de collecter toutes sortes de données, depuis la formation des premières étoiles et des premières galaxies après le big bang jusqu'à la météo des exoplanètes. En particulier, le mode SOSS (pour *Single Object Slitless Spectroscopy*) se concentre sur un objet à la fois et sert à étudier l'atmosphère des exoplanètes, grâce à la méthode dite « du transit ».

Tout se joue lorsqu'une planète passe devant son étoile : elle éclipse alors une petite fraction de la lumière de celle-ci. Si la planète possède une atmosphère, cette dernière va filtrer une partie de la lumière provenant de l'étoile et en modifier le spectre. « On sait par exemple que



l'eau absorbe la lumière à 1,4  $\mu\text{m}$  de longueur d'onde, explique Loïc Albert, chercheur à l'iREx. Donc si elle contient de la vapeur d'eau, l'atmosphère de l'exoplanète sera opaque à cette longueur d'onde. Chaque molécule, chaque atome a ainsi sa propre signature spectrale : c'est comme ça qu'on peut trouver la composition chimique de l'atmosphère. »

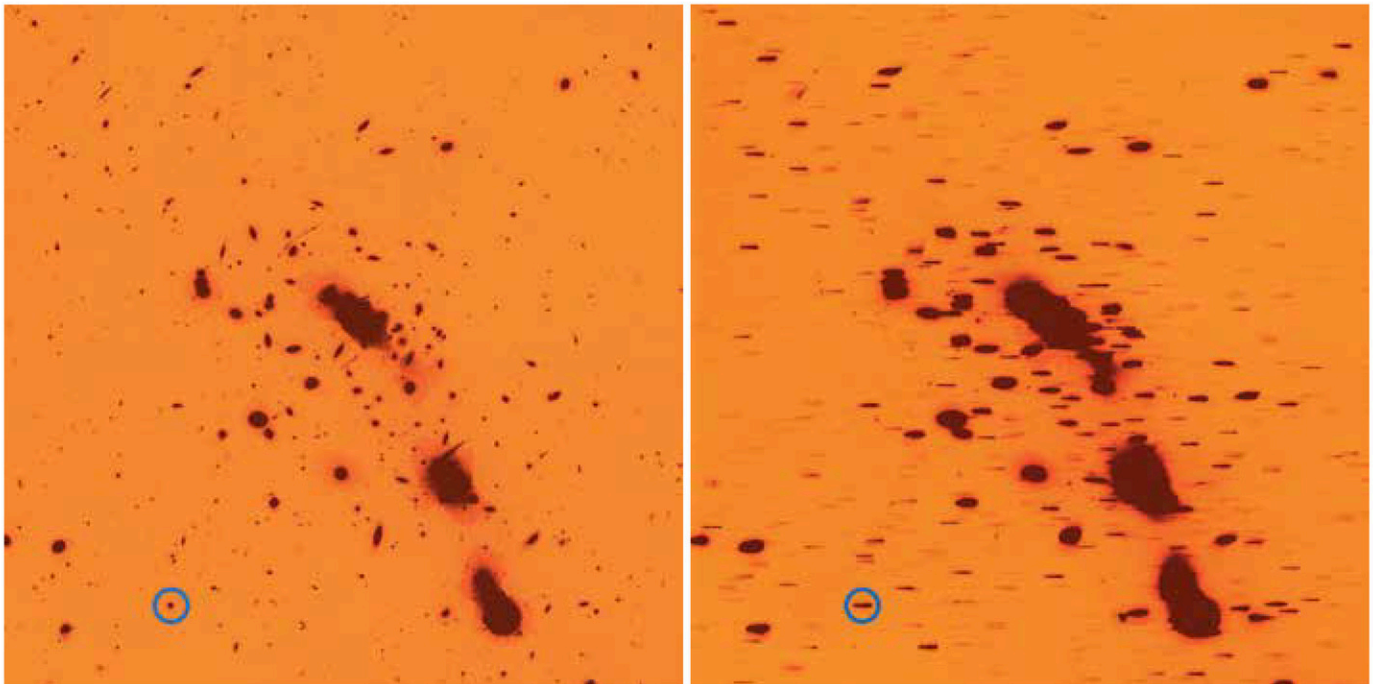
Pour effectuer ce type d'observations, il faut cependant que le télescope, l'exoplanète et son étoile soient alignés ; et si l'on espère voir l'atmosphère filtrer une partie de la lumière de l'étoile, il faut que celle-ci ne soit pas trop brillante. « On peut imaginer par exemple que, si on a une petite ampoule et que l'on met son doigt devant, la baisse de luminosité va être beaucoup plus importante que si on a une très grosse ampoule

très lumineuse », illustre Olivia Lim, doctorante à l'Université de Montréal et membre de l'iREx.

**LA ZONE HABITABLE**

Chercher des biosignatures sur une exoplanète n'est cependant pas une mince affaire et requiert de cocher un bon nombre de contraintes. Il faut d'abord sélectionner des planètes candidates, observables par la méthode du transit et dont les conditions pourraient potentiellement abriter de la vie. Il s'agit a priori de planètes rocheuses, à peu près de la même taille que celle de la Terre, et qui se situent dans la zone dite « habitable » autour de leur étoile, là où il ne fait ni trop chaud ni trop froid, pour permettre la présence d'eau liquide en surface.

Il faut ensuite déterminer si la planète a une atmosphère, puis vérifier la présence d'eau. Pourquoi, parmi toutes les molécules, l'eau est-elle si importante ? Car c'est une condition *sine qua non* pour la vie sur Terre. Les scientifiques supposent donc qu'elle l'est aussi pour la vie extraterrestre. « L'un des autres grands défis de l'astrobiologie, c'est qu'on doit baser nos théories sur quelque chose, et donc on le fait sur les exemples de vie qu'on a sur Terre, explique Nathalie Ouellette, coordonnatrice scientifique canadienne du télescope et de l'iREx. Et en l'occurrence, l'eau est nécessaire pour les processus chimiques qui mènent à la biologie. Peut-être que des formes de vie extraterrestres pourraient avoir trouvé d'autres chemins pour la réactivité biologique, mais ce serait comme chercher



L'un des modes du NIRISS lui permet d'obtenir des spectres de milliers d'objets en même temps. À gauche, les galaxies figurent sous forme de points ou d'amas. À droite, le spectre de chaque galaxie (ou amas) est étalé horizontalement. Ces mesures permettent de calculer entre autres la distance des galaxies et leur âge.



Vue d'artiste  
de l'exoplanète WASP-39b,  
étudiée par le NIRISS

la réponse à une question qu'on ne se serait même pas encore posée. »

Si les conditions d'observation, de taille, de température et d'atmosphère sont réunies, on peut alors commencer à chercher d'autres molécules que celles de l'eau dans l'atmosphère. On sait notamment que certains gaz, comme le dioxygène, le méthane, le CO<sub>2</sub> ou encore l'ozone, peuvent trahir la présence de vie. Mais trouver un seul de ces gaz n'est certainement pas suffisant pour crier victoire. En effet, « nous connaissons des moyens géologiques ou chimiques de produire de l'oxygène ou du méthane sans qu'il y ait de la vie par exemple. Mais si l'on détectait ces deux gaz à la fois, ce serait une biosignature plus convaincante », explique Sarah Rugheimer, spécialiste des biosignatures et professeure au Département de physique et d'astronomie de l'Université de York, à Toronto.

Attention, donc, aux conclusions hâtives lorsqu'il s'agit de rechercher de la vie extraterrestre. « Même si l'on parvient un jour avec James-Webb à détecter des molécules dans l'atmosphère d'une planète de taille terrestre, il y aura encore un long chemin avant de pouvoir confirmer que ce sont des traces de vie, souligne Olivia Lim. Il faudra consulter des experts en biologie et en astrobiologie pour savoir si des processus chimiques

non biologiques pourraient les avoir produites dans de telles quantités. »

### DÉTOUR PAR WASP-39B

Avant de s'attaquer aux planètes rocheuses terrestres pouvant éventuellement abriter de la vie extraterrestre, les scientifiques ont d'abord étudié les planètes gazeuses, afin de tester les performances du NIRISS. « C'est comme un échauffement pour nous : elles sont plus grosses, plus brillantes, leur atmosphère est plus épaisse, donc plus facile à étudier que celle des planètes rocheuses », souligne Nathalie Ouellette.

Björn Benneke fait partie de l'équipe internationale qui a passé au crible la planète géante gazeuse WASP-39b avec le NIRISS. D'une masse comparable à celle de Jupiter, cette planète découverte en 2011 est située à 700 années-lumière de la Terre, et sa température avoisine les 900 °C. Les observations de l'équipe ont été dévoilées dans cinq articles diffusés sur arXiv en novembre dernier (ils sont donc encore en attente d'être revus par les pairs).

Cette « Jupiter chaude » a réservé bien des surprises aux scientifiques. « On a notamment trouvé du CO<sub>2</sub>, de la vapeur d'eau et du monoxyde de carbone dans l'atmosphère de cette planète, affirme le chercheur. Il n'y a aucun doute là-dessus, c'était comme voir l'atmosphère de nos

propres yeux. Et on a aussi trouvé du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), auquel on ne s'attendait pas du tout, donc c'était vraiment une grande surprise. »

Après cette petite mise en jambes, place aux exoplanètes rocheuses. Ce sont les sept planètes du système TRAPPIST-1 sur lesquelles Olivia Lim a jeté son dévolu. Par chance, elles sont toutes rocheuses et respectent les contraintes d'observation et de taille dont on parlait plus haut. Et cerise sur le gâteau : trois d'entre elles au moins se trouvent dans la zone habitable ! Reste à savoir si ces exoplanètes ont bel et bien une atmosphère, et si elles contiennent de l'eau, avant de passer à des analyses plus poussées pour essayer d'y détecter d'autres molécules. La doctorante prépare en ce moment même un article sur les premières observations de TRAPPIST-1 faites avec James-Webb, qui devraient apporter un début de réponse.

Toute l'équipe de l'iREx a hâte de découvrir la suite des événements. « Le télescope James-Webb est plus performant que ce que nous avions prévu, donc c'est de très bon augure, dit René Doyon. L'avenir est extrêmement brillant, et ça va s'accélérer dans les prochaines années. » James-Webb n'a donc pas fini de nous livrer tous les secrets des exoplanètes, et peut-être même de la vie extraterrestre ! ●

# Pour des traités plus écolos

Les travaux de Jean-Frédéric Morin ouvrent la voie à une meilleure intégration des préoccupations environnementales dans les accords commerciaux.



Les accords commerciaux ont des effets complexes mais bien réels sur l'environnement. Par exemple, la hausse de la production et du transport de biens de consommation génère en retour des émissions de gaz à effet de serre, qui contribuent au dérèglement climatique. En contrepartie, cette circulation de matériaux et de produits est nécessaire pour développer les technologies « vertes », comme les panneaux solaires photovoltaïques. Ces derniers sont par ailleurs moins chers à l'unité grâce à des économies d'échelle, elles aussi attribuables à l'intensification du commerce international.

« Dans un monde idéal, les accords commerciaux accentueraient les bénéfices pour l'environnement plutôt que les préjudices. Cela exige cependant de s'attarder au contenu spécifique de ces traités, qui ne s'équivalent pas », affirme Jean-Frédéric Morin, professeur au Département de science politique de l'Université Laval. L'automne dernier, ce spécialiste des institutions économiques internationales a été nommé membre du Collège des nouveaux chercheurs de la Société royale du Canada, qui regroupe notamment des scientifiques arrivés à un stade très productif de leur carrière.

## SYSTÈMES COMPLEXES

L'originalité des travaux de Jean-Frédéric Morin est d'aller au-delà des quelques accords commerciaux que tous et toutes connaissent, comme l'Accord Canada-États-Unis-Mexique et l'Accord économique et commercial global, qui lie le Canada et l'Union européenne. Le titulaire de la Chaire de recherche du Canada en économie politique internationale est justement à l'origine de plusieurs bases de données originales qui traduisent ce souci d'exhaustivité. L'une d'elles recense ainsi toutes les clauses environnementales de 730 accords commerciaux !

« Aussi important soit-il, un accord ne constitue qu'un seul arbre dans la forêt. En négligeant le portrait d'ensemble, on passe à côté d'innovations dignes d'intérêt d'un point de vue réglementaire et normatif », explique le chercheur. Cette approche systémique est en rupture avec les théories plus classiques, qui postulent que les traités sont indépendants les uns des autres. Selon lui, ils forment plutôt un vaste réseau complexe dans lequel les interactions, nombreuses, sont parfois porteuses de bonnes idées, qui méritent d'être diffusées.

« D'un point de vue scientifique, analyser plusieurs cas fait ressortir de la variabilité », indique Jean-Frédéric Morin. Au bout du compte, ce sont les négociateurs commerciaux qui en tirent parti. « Ils ont une meilleure idée des conditions gagnantes pour que, par exemple, les accords commerciaux ne freinent pas la régulation environnementale », souligne-t-il. Preuve de son influence, le chercheur a été invité à partager ses

## Les questions de Rémi Quirion

SCIENTIFIQUE EN CHEF DU QUÉBEC \*

**Dans la foulée de la COP15 tenue à Montréal en décembre 2022 et de la signature de l'accord Kunming-Montréal, croyez-vous que l'on tiendra davantage compte de l'environnement et de la biodiversité dans les futurs accords commerciaux ?**

L'accord de Kunming-Montréal représente une avancée importante. Les États se sont notamment engagés à protéger 30 % de leur territoire d'ici 2030. Cette formule « 30 % d'ici 2030 » marque les esprits et facilite la mobilisation de la société civile. Les ONG peuvent facilement vérifier si les gouvernements sont en voie de respecter leurs engagements et dénoncer les manquements. Pour l'instant, ce sont principalement ces forces politiques qui incitent les gouvernements à prendre les mesures qui s'imposent.

Les accords commerciaux peuvent créer des incitatifs supplémentaires. Ces accords sont dotés de mécanismes de contrainte qui ont beaucoup plus de mordant que ceux que l'on trouve dans les accords environnementaux, comme la Convention sur la diversité biologique. Si un État ne respecte pas un accord commercial, il peut se voir imposer des sanctions. Dès lors, en réitérant les engagements pris à la COP15 dans un accord commercial, les gouvernements seraient doublement incités à respecter leurs engagements : non seulement pour répondre à la pression de la société civile, mais aussi pour éviter des sanctions commerciales. Mes recherches indiquent que c'est une stratégie efficace.

**Portez-vous vos travaux à l'attention des décideurs politiques ? La recension et l'analyse des clauses environnementales auraient-elles un intérêt pour eux, selon vous ?**

Absolument ! Les négociateurs commerciaux sont intéressés par mes résultats. Ils naviguent parfois à l'aveugle et doivent improviser des solutions. Ils sont avides de données probantes. Par exemple, je peux leur indiquer quelles sont les clauses environnementales qui favorisent le plus le commerce des produits verts et celles qui réduisent le commerce de produits polluants.

J'ai déployé plusieurs stratégies pour communiquer avec les négociateurs. Ils n'ont pas le temps de lire mes publications scientifiques, alors j'ai publié une série de courtes synthèses à leur intention. J'ai parfois l'occasion de leur résumer mes conclusions en personne en allant sur leur lieu de travail, que ce soit à Ottawa, à Washington, à Bruxelles ou ailleurs. J'ai aussi développé une carte interactive ([www.TRENDanalytics.info](http://www.TRENDanalytics.info)), qui permet aux négociateurs d'explorer ma base de données pour trouver de nouvelles idées. J'ai reçu des échos positifs, notamment des dirigeants de l'Organisation mondiale du commerce et du Programme des Nations unies pour l'environnement.

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

résultats de recherche avec des représentants d'institutions telles que l'Organisation mondiale du commerce et l'Organisation de coopération et de développement économiques.

### DÉBRIS SPATIAUX

Même si Jean-Frédéric Morin s'intéresse aussi aux effets des institutions économiques internationales sur la santé publique et la diversité culturelle, l'environnement occupe une place particulière dans sa programmation de recherche. Et on parle d'environnement au sens large ! Ces temps-ci, il porte son regard sur la pollution de l'espace et les accords gouvernant l'industrie spatiale, une thématique peu explorée, qu'il a nommée « l'astro-environnementalisme ».


« Il se passe la même chose en ce moment en orbite terrestre que sur Terre depuis la révolution industrielle. On y trouve de plus en plus de débris d'origine humaine qui ont le potentiel d'endommager les satellites, lesquels constituent également une forme de pollution », déplore-t-il. Selon l'Agence spatiale européenne, il y aurait environ 34 000 de ces débris de 10 cm et plus au-dessus de nos têtes.

Dans un monde où les économies sont plus que jamais intégrées, la pertinence des contributions scientifiques de Jean-Frédéric Morin est indiscutable. « Nous ne sommes pas à la veille d'un mouvement de démondialisation, d'où la nécessité d'améliorer l'efficacité des différents traités au regard de l'environnement », fait valoir Noémie Laurens, qui a été supervisée par le chercheur lors de son doctorat en science politique, terminé l'été dernier.


« De toutes ses qualités, c'est sa réactivité qui m'a le plus impressionnée, souligne celle qui est aujourd'hui chercheuse postdoctorale en relations internationales à l'Institut de hautes études internationales et du développement de Genève. Son temps de réponse à un courriel n'excède jamais deux heures ! » *Québec Science* a pu en faire l'expérience lors de la production de cet article. Verdict : c'est bien vrai. ●

Par Maxime Bilodeau

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

 [scientifique-en-chef.gouv.qc.ca](http://scientifique-en-chef.gouv.qc.ca)

 [facebook.com/SciChefQC](https://facebook.com/SciChefQC)

 @scichefqc



Émilie Folie-Boivin @efolieb

## CULTURE



VOIR

### NOTRE JARDIN DE GIVRE

La glace est essentielle à la vie nordique, bien qu'on la préfère sur la patinoire et non sur nos routes, et elle mérite d'être célébrée. Après tout, n'est-elle pas ce qu'on cherche lorsque nous explorons les tréfonds de l'Univers pour trouver des signes de vie ? Le Planétarium Rio Tinto Alcan consacre une partie de sa programmation au sujet avec *Mondes de glaces*, qui a remporté le prix du meilleur film de science au Dome Fest West de Los Angeles. Grâce à la voix de l'auteure-compositrice-interprète inuite et mohawk Beatrice Deer, ce film immersif révèle les multiples facettes de cette précieuse et fragile ressource hydrique. L'effet de la caméra à 360 degrés ne fait qu'en magnifier la beauté.

*Mondes de glaces*, réalisé par Philippe Baylaucq et produit par l'Office national du film du Canada et le Planétarium Rio Tinto Alcan, 34 minutes, [espacepourlavie.ca](http://espacepourlavie.ca)

GÔTER



### UNE IDÉE GOURMANDE PAS PIQUÉE DES VERS

Les palais curieux ont enfin l'occasion de s'initier à l'entomophagie en bonne et due forme. Les grillons trempés dans le chocolat sont maintenant chose du passé : l'Insectarium de Montréal nous présente les réelles possibilités d'une alimentation à base d'insectes avec sa boîte de dégustation EntomoMiam. Mis au défi de nous faire saliver à la vue de grillons, le chef consultant et créateur gastronomique Daniel Vézina a sorti de sa coiffe quelques succulentes idées que l'équipe de *Québec Science* a essayées. Les amandes rôties au sel de sauterelle et à la lime ont eu la faveur de celles qui préfèrent les bibites à l'état naturel plutôt que dans leur assiette ; le côté ludique des Pocky à la propolis à plonger dans le miel, puis dans une poudre de ténébrions et de fleurs séchées nous a toutes charmées ; tandis que les croustilles aux algues et ténébrions accompagnées d'une tapenade de tomates séchées, ténébrions et bacon de mer ont eu mon vote. On les apporte sans hésiter au prochain apéro entre amis pour soulever passions et discussions !

La boîte **EntomoMiam** est vendue à l'Insectarium et aux boutiques du Jardin botanique et du Biodôme de Montréal, [espacepourlavie.ca](http://espacepourlavie.ca)

VISITER

### LES ENTRAILLES DES PYRAMIDES

Bien sûr, se tenir devant l'une des Sept Merveilles du monde, telles les pyramides de Gizeh, est une expérience unique et mémorable. Mais avoir un accès privilégié à leurs recoins les plus secrets sans déboursier un sou et, surtout, sans souffrir de claustrophobie, ce n'est pas mal non plus ! Digital Gizeh, conçu par l'Université Harvard, propose des visites virtuelles par reconstitution 3D à entreprendre à son rythme. On circule avec fluidité dans les tunnels et ce tour du propriétaire est accompagné de textes explicatifs (en anglais) qui enrichissent les parcours. Ils indiquent les prouesses architecturales à ne pas manquer, déboulonnent des mythes et présentent même les expériences en cours. Prenez le temps d'explorer le tombeau de la reine Mérésânkh III, qui est l'une des plus belles tombes des nécropoles de Gizeh, dans un circuit en français celui-là.

[giza.mused.org](http://giza.mused.org), [giza.fas.harvard.edu](http://giza.fas.harvard.edu)

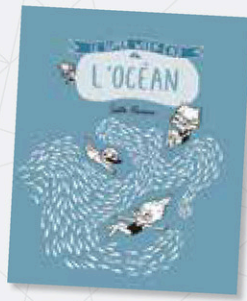




LIRE

## LECTURE DE PLAGE

Les algues, les marées, la faune des abysses, les courants et le souffle des baleines n'auront plus de secrets pour vos enfants après la lecture de la bande dessinée *Le super week-end de l'océan*. Les sept ans et plus ont ici droit à une plongée initiatique aussi amusante qu'enrichissante dans le monde de la biologie marine, guidée par l'amour de la science de l'auteure Gaëlle Alméras. Les planches dépliantes permettent d'explorer un peu plus en détail certains univers, comme ceux des récifs coralliens, et de comparer les deux pôles pour mieux différencier leurs résidents. La décomposition des déchets de plastique et les gyres sont également abordés. Cet album jeunesse est un joli trésor à offrir et il saura rendre les vacances en bord de mer encore plus mémorables !



Le super week-end de l'océan, par Gaëlle Alméras, Maison Georges, 170 p.

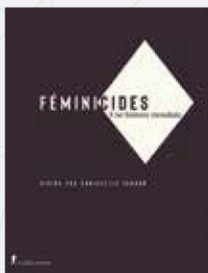


## UN MONDE DE FOUS !

*Les animaux les plus bizarres du monde* contiennent tout ce que les enfants aiment : des bêtes avec une drôle de bouille, des systèmes de défense dignes de la science-fiction et beaucoup d'anecdotes au sujet des excréments ! La fiche de chacune des 56 espèces choisies – dont le poisson-hérisson, le rat-taupe nu, le zooplancton – comporte un petit

texte explicatif sur ce qui les rend si géniales ainsi qu'une jolie illustration présentant ladite bestiole sous son meilleur angle. Un album illustré hors du commun dont l'une des principales qualités est sa capacité à séduire autant les parents que les enfants.

Les animaux les plus bizarres du monde, par Philip Bunting, Éditions MultiMondes, 80 p.



## LES VIOLENCES DU QUOTIDIEN

Le féminicide est un meurtre. Plus exactement, le meurtre d'une femme parce qu'elle est une femme. Un type de violence qui ne peut se comprendre si l'on se limite aux drames isolés, apprend-on à la lecture de *Féminicides*, qui consacre près de 1000 pages à l'histoire de

la brutalité envers les femmes et aux effets de la domination masculine. Dans cette étude colossale dirigée par l'historienne Christelle Traud, spécialiste de l'histoire des femmes, des genres et des sexualités en contexte colonial, les voix d'une centaine d'artistes, de chercheuses, de journalistes et d'activistes sont rassemblées. Chacune témoigne des violences trop souvent normalisées ou les raconte à sa manière : que ce soit en scrutant les propos et images stéréotypés de l'émission jeunesse *Il était une fois... l'Homme* ou en abordant la symbolique du corset et de Barbie, l'esclavage, la chasse aux sorcières et le viol comme arme de guerre. Cet ouvrage invite à l'unité, à une prise de conscience immédiate ; ce n'est rien de moins qu'un appel aux troupes.

Féminicides : une histoire mondiale, par Christelle Traud, Éditions La Découverte, 928 p.



LIRE

## LES SCIENTIFIQUES DE L'OMBRE



Derrière chaque invention, il y a des scientifiques qui deviennent parfois connus alors que la plupart restent dans l'ombre. Deux ouvrages rendent honneur à leur ingéniosité ainsi qu'aux découvertes qui ont façonné notre monde.

Que ce soit en raison de leur couleur de peau, de leur sexe ou de leur peu d'habileté en matière d'autopromotion, Vera Rubin, Marthe Gauthier, Charles Henry Turner et compagnie n'ont pas brillé autant qu'ils auraient dû. *Les oubliés de la science* rendent magnifiquement justice à 48 de ces talentueux cerveaux dans un album illustré agrémenté d'anecdotes et de suggestions de lectures et de vidéos pour explorer plus en profondeur le travail de ces illustres inconnus. Le concept vous dit peut-être quelque chose, puisque ces « oubliés » figurent déjà dans le magazine *Science & Vie junior* depuis quelques années. L'auteure et journaliste Camille Van Belle les a ici rassemblés.

Les oubliés de la science, par Camille Van Belle, Éditions Alisio, 208 p.



Le géologue et professeur de l'Université de Sherbrooke Frédéric Bouchard recense quant à lui, dans *Ici, la Terre*, 10 aventures scientifiques ayant bouleversé le monde. C'est l'occasion pour lui d'exhumer l'histoire de chercheurs et d'une chercheuse méconnus qui ont

transformé la géologie et dont les noms auraient très bien pu figurer parmi les icônes de la science. Le vulgarisateur nous amène dans la bibliothèque du musée d'histoire naturelle de Londres à la découverte de la plus ancienne carte d'un pays entier dressée par le géologue William Smith ; dans le fin fond de la Sibérie sur les traces de l'explorateur Alexander von Middendorff, pionnier de l'étude du pergélisol ; puis jusqu'aux États-Unis pour assister à l'ascension – et à la débâcle – du père de la théorie de la glaciation, Louis Agassiz.

Ici, la Terre, par Frédéric Bouchard, Éditions MultiMondes, 156 p.

# QUÉBEC SCIENCE

L'heure est à la science



1 AN (8 NUMÉROS PAPIER)  
donnant aussi accès à l'édition numérique

**43\$** + TAXES ~~63,60\$~~ + TAXES

UN ÉCONOMIE DE  
**32 %** sur le prix de vente  
en kiosque.

M'ABONNER OU RENOUVELER

[quebecscience.qc.ca](http://quebecscience.qc.ca)

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



SEULEMENT

**57\$**  
+ taxes

**Vous aimez les sciences  
et la nature ?**

Offrez-vous un duo qui saura  
satisfaire votre curiosité!



# Sports extrêmes... pour l'environnement ?



**A**scène en avait froissé plus d'un : à un point de presse tenu en septembre 2022, l'entraîneur du club de soccer Paris Saint-Germain et son joueur vedette, Kylian Mbappé, avaient tourné en ridicule l'idée de troquer leurs déplacements en jet privé contre des trajets en train entre Paris et Nantes lorsqu'ils avaient été questionnés sur leur empreinte carbone. Retenant à peine leur rire, ils avaient ironisé sur la possibilité de se déplacer... en char à voile. Pourtant, la question n'avait rien de risible.

Quelques semaines plus tard, la coupe du monde de soccer organisée au Qatar, à grands coups de stades à ciel ouvert nouvellement construits et climatisés, de milliers de litres d'eau dessalés et de navettes aériennes destinées aux spectateurs, relançait le débat : à quel point les grands événements sportifs portent-ils atteinte à nos objectifs climatiques et à l'intégrité des écosystèmes ?

Jouons franc-jeu : j'admets avoir abordé ces questions avec un préjugé défavorable aux kermesses sportives. Or, tout ne semble pas noir ou blanc lorsqu'on s'arrête aux tenants et aboutissants de ces moments phares du sport.

Dans une revue de la littérature publiée en octobre 2022 portant sur l'effet environnemental d'événements sportifs tenus entre 2000 et 2021, des chercheurs espagnols ont évalué une cinquantaine d'articles sur le sujet. Les auteurs se sont penchés sur l'empreinte des événements sportifs en fonction de leur taille : giga – 3 millions de visiteurs ou plus (comme les Jeux olympiques d'été); méga – 1 million de visiteurs ou plus (les coupes du monde de soccer); majeur – 500 000 visiteurs ou plus (le Tour de France).

Mes impressions de départ ont été en partie confirmées : sur l'ensemble des effets liés aux événements sportifs, l'équipe espagnole a dénombré un plus grand nombre de conséquences négatives (62 % de toutes les répercussions évaluées) par rapport aux retombées favorables, tous gabarits sportifs confondus. Parmi les aspects négatifs recensés, on note principalement la pollution de l'air, la destruction d'habitats naturels protégés, la pollution par les débris et la forte consommation d'énergie et d'eau. Mais à mon grand étonnement, les auteurs ont également noté un certain nombre d'apports bénéfiques (33 % des effets évalués) associés à ces rendez-vous grand public. Plus surprenants encore, les « giga-événements » semblent être les plus propices à engendrer des retombées positives pour l'environnement.

Parmi les éléments positifs insoupçonnés, signalons la diminution de la pollution de l'air (dans certains cas) et l'amélioration de l'habitabilité de la ville hôte (verdissement,

amélioration des installations de transport). Par exemple, deux études indépendantes publiées en 2019 ont établi que la qualité de l'air à Rio de Janeiro s'était améliorée pendant et après les Jeux olympiques d'été de 2016 en raison de meilleurs aménagements urbains et de plus d'écomobilité.

En contrepartie, les mégaévénements et ceux dits « majeurs » auraient la pire empreinte écologique, s'accompagnant souvent d'une augmentation de la pollution de l'air et ne bénéficiant pas de programmes de compensation environnementale. Ce fut le cas de la coupe du monde de soccer de 2014 (Brésil), où les stades construits pour le tournoi devaient être « carboneutres » grâce à la plantation de 1,4 million d'arbres. Hélas, seulement 5 % des arbres promis ont été plantés et les coûteuses installations étaient déjà en décrépitude un an après la compétition.

Force est donc d'admettre qu'on ne peut plus faire l'économie des dimensions environnementales quand vient le temps d'organiser de grandes rencontres sportives – décisions qui, traditionnellement, ont été fondées sur les retombées économiques.

Voilà pourquoi en 2018, à la Conférence des parties (COP 24) sur le climat de Katowice, en Pologne, le milieu sportif et la branche onusienne consacrée aux changements climatiques ont lancé un cadre de référence sur l'action climatique dans le sport, visant la promotion d'une plus grande responsabilité et l'atteinte de la carboneutralité en 2050. Plus de 300 signataires s'y sont engagés, dont la FIFA, le Comité international olympique, la Fédération internationale de l'automobile (responsable des courses de formule 1), de même que Tennis Canada, le Comité olympique canadien et le Conseil des Jeux du Canada.

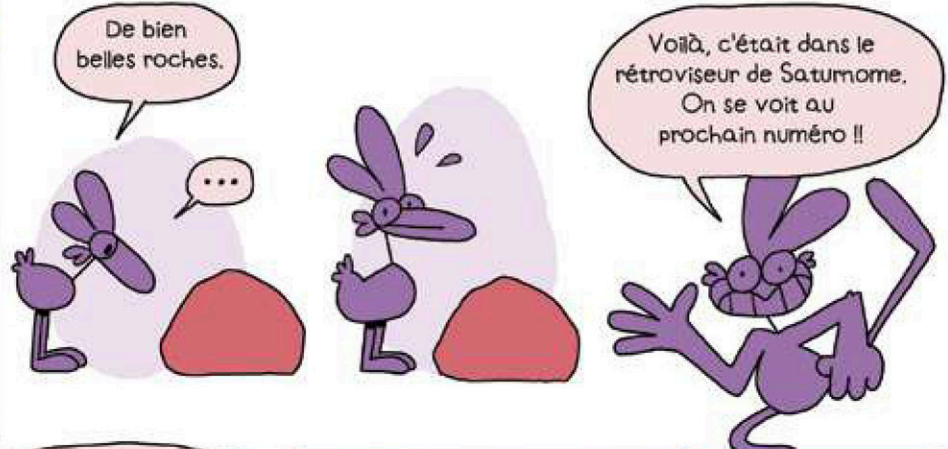
Toutefois, à la lumière des coûts environnementaux associés à la coupe du monde au Qatar et considérant la tenue des Jeux olympiques d'hiver de 2029 en Arabie saoudite, qui s'affaire à développer une véritable mégapole de 25 000 km<sup>2</sup> en plein désert, on peut se demander si ces engagements ne font pas office de vœux pieux, voire d'écoblanchiment éhonté...

D'ailleurs, le groupe d'experts des Nations unies sur les engagements de carboneutralité, présidé par l'ancienne ministre fédérale de l'Environnement et du Changement climatique Catherine McKenna, déposait un rapport à la COP 27 recommandant aux industries, aux établissements financiers et aux villes de « rendre compte publiquement de leurs progrès en matière d'action climatique avec des informations vérifiées pouvant être comparées avec celles de leurs pairs ».

Pourquoi ne pas élargir la portée de cette grille d'analyse aux engagements pris par les organisations sportives? Peut-être serait-ce là l'occasion de s'assurer que nos sports favoris ne deviennent pas extrêmes pour le climat, notre environnement et notre avenir! ●



Près de Costești, petite ville roumaine de 3 000 habitants, se trouvent des roches.



De bien belles roches.

Voilà, c'était dans le rétroviseur de Saturnome. On se voit au prochain numéro !!



Ah non ! Attendez, je n'avais pas vu les autres pages, ça continue !



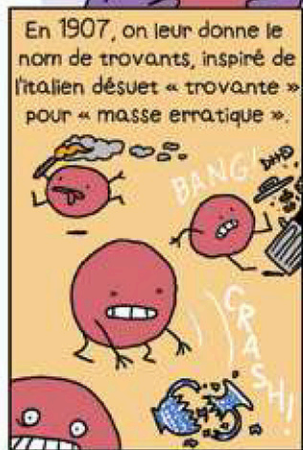
J'écris mes chroniques vers trois heures du matin en général, j'en oublie parfois parfois des bouts.



En 1883, Grigore Cobălcescu, le père de la géologie roumaine, s'intéresse à ces roches vieilles d'environ six millions d'années.



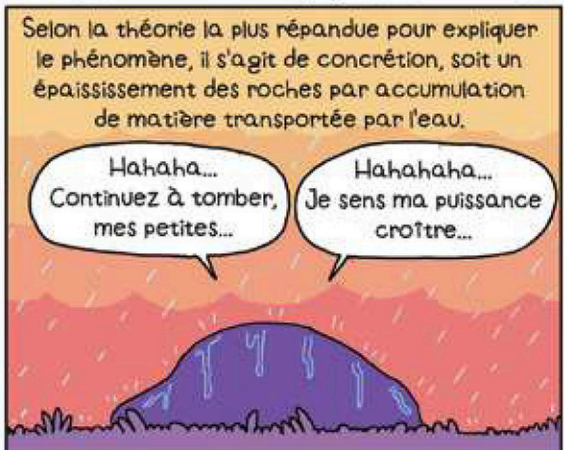
Sa découverte : ces roches grossissent, bougent et se reproduisent !!



En 1907, on leur donne le nom de trovants, inspiré de l'italien désuet « trovante » pour « masse erratique ».



Bon, ne laissez pas votre imagination s'emballer : les quelques centimètres par millénaire que ces roches gagnent font que parfois elles glissent un peu ou se brisent, ce qu'on entend par « reproduire ».



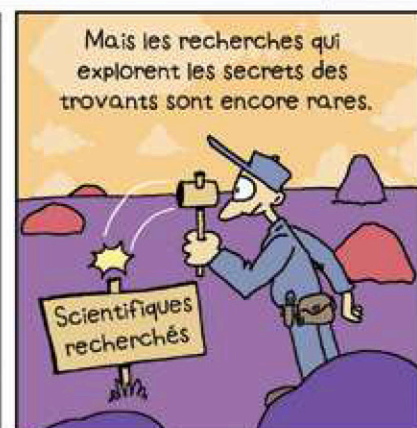
Selon la théorie la plus répandue pour expliquer le phénomène, il s'agit de concrétion, soit un épaississement des roches par accumulation de matière transportée par l'eau.

Hahaha... Continuez à tomber, mes petites...

Hahahaha... Je sens ma puissance croître...



Il y a par exemple des roches de ce type qui ont leur propre nom, ce sont les gogottes, dans la forêt de Fontainebleau en France.



Mais les recherches qui explorent les secrets des trovants sont encore rares.



En tout cas, depuis 2004 le lieu est une réserve naturelle et en 2022 l'UNESCO en a fait un territoire protégé.

Saturnomezz



PRÉSENTE

# Petite AVENTURE

# La plus belle fin de semaine à vélo !

30 juin au 2 juillet



Obtenez une participation **GRATUITE** au Tour de l'Île de Montréal en réservant d'ici le 31 mars.

Forfaits tout inclus : hébergement, repas, transport des bagages, itinéraire balisé, encadrement, et nombreuses animations au village.



Réservez dès maintenant!  
[veloquebecvoyages.com](http://veloquebecvoyages.com)

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

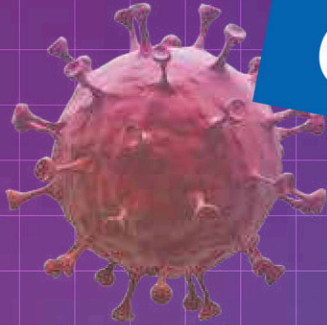


Vélo Québec  
VOYAGES

**IN  
RS**

Institut national  
de la recherche  
scientifique

**INRS.CA**

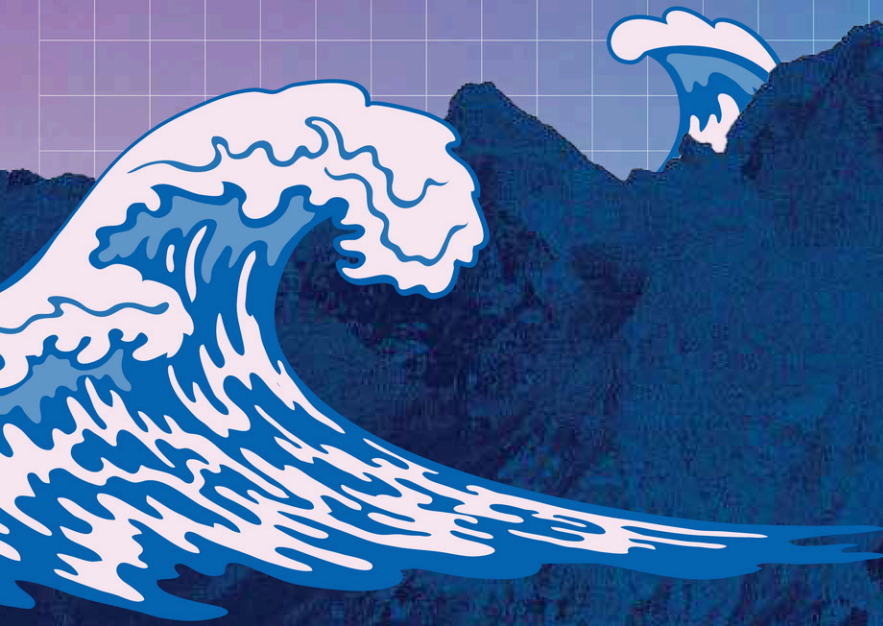


découvrir

la science

tout-terrain

Tes études en recherche  
commencent ici →



ÉTUDES → STAGE → MAÎTRISE → DOCTORAT