

ZOOM SUR  
NOS MICROBES  
EN ORBITE

LE RETOUR  
INATTENDU  
DU DIRIGEABLE

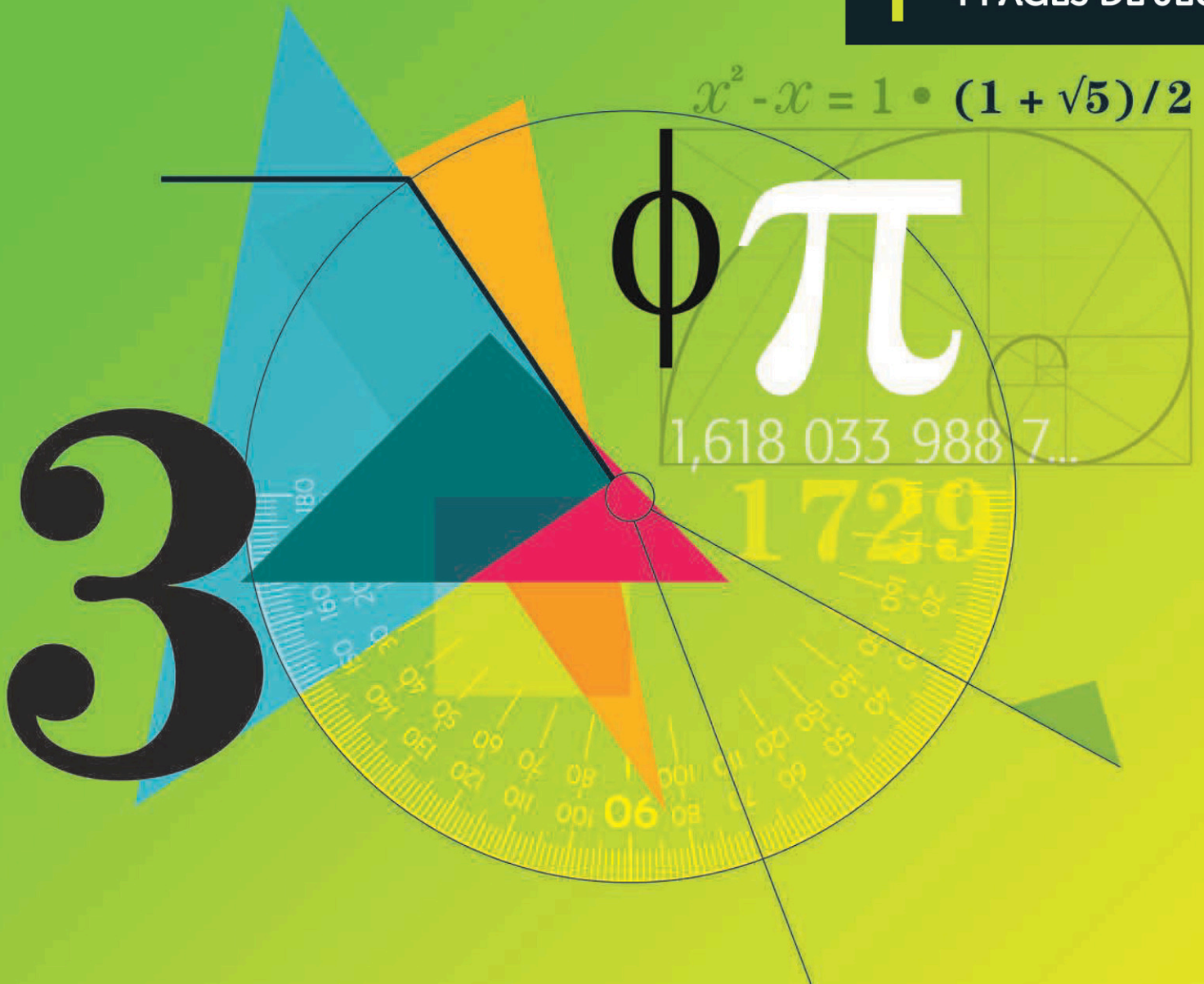
# QUÉBEC SCIENCE

JUILLET-AOÛT 2020

## Nombres fascinants

Quels sont les secrets des nombres qui gouvernent nos vies ?

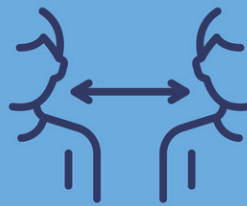
**+** 4 PAGES DE JEUX



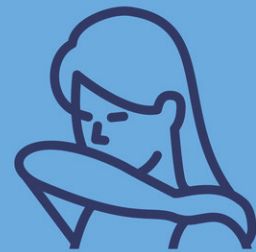
# On lâche pas. On continue de se protéger.



Lavez  
vos mains



Gardez vos  
distances



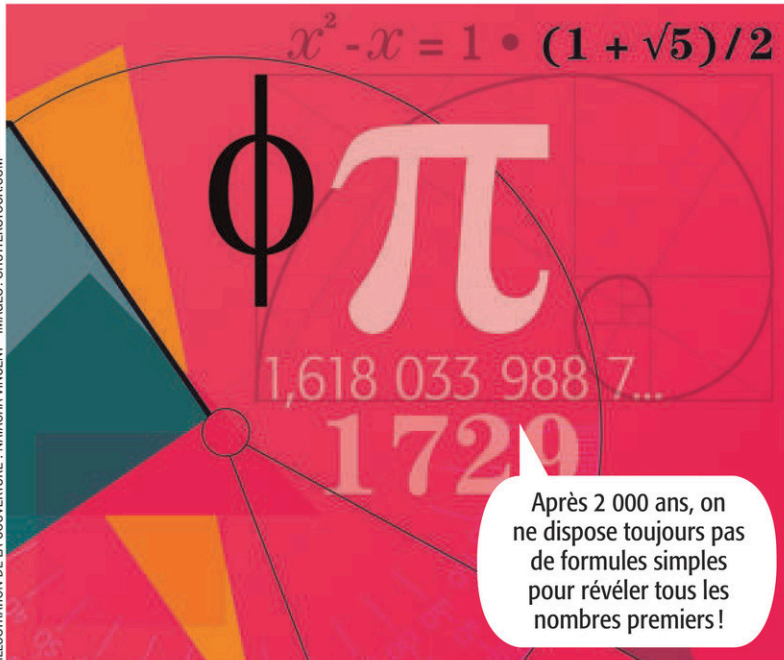
Toussez dans  
votre coude

[Québec.ca/coronavirus](https://quebec.ca/coronavirus)

 1 877 644-4545

# SOMMAIRE

ILLUSTRATION DE LA COUVERTURE : NATACHA VINCENT • IMAGES : SHUTTERSTOCK.COM



## EN COUVERTURE

### 17 Les nombres et leurs secrets

Pourquoi les nombres parfaits demeurent-ils si mystérieux? Trouvera-t-on un jour la clé de l'énigme des nombres premiers? Pourquoi le nombre 42 suscite-t-il autant d'intérêt? Découvrez les réponses dans notre dossier estival. Puis, activez vos neurones avec notre sélection de jeux, d'équations et d'énigmes!

## REPORTAGES

### 32 L'ennui est-il bénéfique?

L'humain a horreur de l'ennui. Or, ce sentiment de vide et d'insatisfaction nous a drôlement rattrapés ces derniers temps. Peut-être n'est-ce pas une si mauvaise chose, nous disent les chercheurs.

### 36 Mille milliards d'amies dans la SSI

On demande souvent aux astronautes de la Station spatiale internationale (SSI) ce qu'ils mangent ou comment ils font pour dormir. La bonne question serait plutôt : qu'est-ce que ça sent?

### 41 Le retour du dirigeable

En 2019, Québec investissait des millions de dollars dans l'entreprise peu connue Flying Whales, qui fabrique des dirigeables. Est-ce le retour en force d'une technologie déchuë ou un mirage de science-fiction?



6



10



32



36

## SUR LE VIF

### 6 LE CABINET DES CURIOSITÉS

Plus que jamais, le bois donne des rêves de grandeur aux concepteurs de gratte-ciels.

### 8 TROUVER L'AIGUILLE DANS LA BOTTE DE FOIN

La chasse est lancée : trouver les anticorps qui neutraliseront le coronavirus, avant même de disposer d'un vaccin.

### 10 S'INSPIRER DES CHAUVES-SOURIS

Elles ont la capacité de coexister avec des virus qui font du tort aux humains. Quel est leur secret?

### 11 LES ÉMIRATS ARABES UNIS EN ROUTE VERS MARS

Le 15 juillet, la sonde émirienne *Hope* décollera vers la planète rouge. Une première!

### 14 COVID-19 : UNE LAISSE NUMÉRIQUE POUR SUIVRE LE VIRUS À LA TRACE

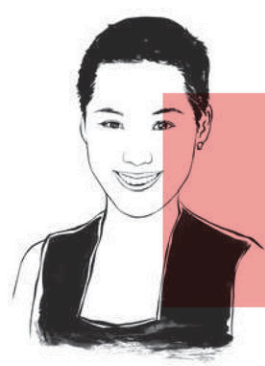
Des États prennent de grands moyens technologiques pour stopper la pandémie. Une traque qui soulève bien des questions.



4 **Éditorial** Par Marie Lambert-Chan | 5 **Mots croisés** | 11 **Technopop** Par Chloé Freslon |

12 **Polémique** Par Jean-François Cliche | 46 **Culture** Par Émilie Folie-Boivin | 49 **Anthropocène** Par Jean-Patrick Toussaint |

50 **Rétroviseur** Par Saturnome



MARIE LAMBERT-CHAN [@MLambertChan](#)

## Éditorial

# Les boucs émissaires

Adulés au début de la crise, des scientifiques sont désormais conspués par une partie du public. Un jeu dangereux où nous sommes tous perdants.

**I**l y a quelques mois, on les a érigés en héros. Ici, Horacio Arruda. Aux États-Unis, Anthony Fauci. En Allemagne, Christian Drosten. En Italie, Massimo Galli. En Grèce, Sotirios Tsiodras. Ces experts en santé publique, en maladies infectieuses, en épidémiologie ou en virologie incarnaient la voix de la raison alors que notre monde partait en vrille. Mais depuis, la lune de miel a tourné au vinaigre.

Le nouveau coronavirus s'est révélé une bête sacrément complexe. Impossible de fournir des réponses définitives au public en manque de certitudes. Tout un chacun s'est approprié les résultats de la recherche, les déformant au gré de ses convictions, de ses frustrations et de ses biais. Les mesures sanitaires sont devenues des objets de contentieux, alimentant les débats partisans et les théories du complot.

Les héros sont devenus des « zéros ». Ils personnifient tous les écueils et les échecs de la crise. Si certains de leurs détracteurs ont formulé des critiques raisonnables et justifiées, d'autres ont choisi de vomir leur courroux sur les réseaux sociaux. Une affiche comparant le virologue Christian Drosten au médecin nazi Josef Mengele a circulé pendant un temps. La hargne est telle que certains vont jusqu'aux menaces de mort. Et des élus ne se gênent pas pour en rajouter. « Si la science était erronée, il n'est pas étonnant que les conseils que nous avons donnés l'aient été également », s'est dédouanée Thérèse Coffey, secrétaire d'État au Travail et aux Retraites au sein du gouvernement de Boris Johnson, très critiqué pour sa gestion de la pandémie.

Ce changement de ton est inquiétant. Tout comme la recherche de coupables,

phénomène typique des épidémies. Dans ce cas-ci, la communauté asiatique a d'abord été ciblée. Et la même chose semble se produire avec les scientifiques. Pourtant, depuis janvier, ils n'ont pas dévié de leurs objectifs : comprendre le virus, trouver des traitements, mettre au point un vaccin, prévenir le plus de décès possible. Mais la perception de leur travail, elle, a diamétralement changé.

Des chercheurs de la London School of Economics and Political Science ont voulu vérifier l'effet à long terme d'une épidémie sur la confiance à l'égard de la science. Pour ce faire, ils ont comparé des informations sur toutes les épidémies mondiales depuis 1970 et examiné les résultats de l'enquête de 2018 du Wellcome Global Monitor, qui a sondé plus de 70 000 personnes dans le monde au sujet de la crédibilité qu'elles accordent aux experts. Ils se sont concentrés sur les individus qui ont traversé des épidémies lorsqu'ils étaient âgés de 18 à 25 ans, une période charnière où se cristallisent croyances et valeurs. La bonne nouvelle? L'exposition à une crise sanitaire n'a eu aucune influence sur l'opinion des gens quant à l'idée que la science soit une entreprise collective nécessaire, lit-on dans leur article publié en mai dernier. La mauvaise? Cela a considérablement réduit la confiance envers les scientifiques en tant qu'individus, entre autres pour ce qui est de leur fiabilité et de leur altruisme. Ces impressions ont persisté dans le temps.

Le problème n'est donc pas tant la science que les visages qui la représentent. Ainsi, personne ne s'oppose à la recherche de médicaments contre la COVID-19, mais nombre d'internautes remettent en cause la crédibilité des chercheurs qui émettent des

doutes sur l'hydroxychloroquine. Sachant cela, comment un expert peut-il parler en public de ses travaux ou formuler des recommandations sur des sujets polarisants sans craindre de devenir un bouc émissaire si le futur lui donne tort? Comment fait Christian Drosten pour continuer de conseiller le gouvernement et d'animer son balado quotidien malgré les paquets suspects laissés sur le pas de sa porte?

Pour éviter à tout prix que des chercheurs cèdent à l'autocensure, les organisations scientifiques (universités, centres de recherche, organismes subventionnaires, etc.) doivent leur offrir des formations pour mieux communiquer en temps de crise. De leur côté, les politiciens doivent assumer leurs décisions et cesser d'utiliser les hommes et les femmes de science comme des paratonnerres, en affirmant qu'ils ne font que « suivre la science ». Leurs décisions demeurent avant tout politiques, même s'ils s'inspirent des avis scientifiques, qui par ailleurs sont multiples et peuvent se contredire. « De la bonne science ne garantit pas toujours une bonne politique; de la mauvaise ou même l'absence de science ne conduit pas forcément à une mauvaise politique, signalaient des chercheurs dans un article paru en 2005 dans le *Journal of Epidemiology and Community Health*. [...] Il faut se rendre compte que la science est nécessaire à la fois pour aider à élaborer les décisions politiques et pour les évaluer. »

Il faut aussi se rendre compte que la science ne tombe pas du ciel. Elle est la somme du travail acharné de tous ces scientifiques qui visent le bien commun et qui devraient être célébrés plutôt que chahutés. ●

JUILLET-AOÛT 2020  
VOLUME 59, NUMÉRO 1

**Rédactrice en chef**  
Marie Lambert-Chan

**Journalistes**  
Marine Corniou, Mélissa Guillemette  
**Journaliste Web et médias sociaux**  
Annie Labrecque

**Collaborateurs**  
Maxime Bilodeau, Jean-François Cliche,  
Caroline Chrétien, Paule des Rivières,  
Émilie Folie-Boivin, Chloé Freslon,  
Jean-François Gagnon, Anne-Hélène Mai,  
Saturnome, Jean-Patrick Toussaint

**Correctrice-révisure** Sophie Cazanave  
**Directrice artistique** Natacha Vincent

**Photographes/illustrateurs**  
François Berger, Louise Bilodeau,  
Nicole Aline Legault, Dushan Milic, Vigg

**Éditrice** Suzanne Lareau

**Comptabilité** Mimi Bensaïd

**Conseillère, relations de presse  
et marketing** Stéphanie Couillard

**Vice-présidente marketing et service  
à la clientèle** Josée Monette

**Publicité**

**Claudine Mailloux** 450 929-1921  
514 909-4601 cmailloux@velo.qc.ca

**Impression** Solisco

**Distribution** Messageries Dynamiques  
Parution : 9 juillet 2020 (563<sup>e</sup> numéro)

**Abonnement** Canada, 1 an : 36 \$ + taxes  
États-Unis, 1 an : 72 \$  
Outre-mer, 1 an : 112 \$  
514 521-8356, poste 504, ou  
1 800 567-8356, poste 504  
Québec Science est publié par  
Vélo Québec Éditions

Dépôt légal : Bibliothèque nationale du  
Québec, Bibliothèque nationale du Canada :  
ISSN-0021-6127  
Envoi Poste-Publications Convention  
n° 40065387.  
© Copyright 2020 – Québec Science.  
Tous droits de reproduction,  
de traduction et d'adaptation réservés.

Indexé dans **repère**

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



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



# Mots croisés



## DES MÉDAILLES D'OR POUR QUÉBEC SCIENCE

Aux 43<sup>es</sup> Prix du magazine canadien, Québec Science a remporté deux médailles d'or. Notre dossier « Plastique : on en a abusé. Maintenant, que fait-on? » (décembre 2019) a remporté les honneurs dans la catégorie Meilleur dossier thématique. Il est le fruit d'une collaboration entre nos journalistes Mélissa Guillemette et Marine Corniou et notre directrice artistique, Natacha Vincent. Les éditoriaux de notre rédactrice en chef, Marie Lambert-Chan, ont décroché l'or dans la catégorie du meilleur texte d'opinion. Enfin, Québec Science a obtenu une mention d'honneur dans la catégorie Meilleur magazine d'intérêt général. Ces marques de reconnaissance nous font chaud au cœur et nous motivent à poursuivre notre mission : livrer à nos fidèles lecteurs la meilleure information scientifique qui soit.

## LA PANDÉMIE ET VOUS

Sur notre page Facebook, vous avez été nombreux à réagir à nos articles sur la pandémie de COVID-19. Voici quelques commentaires reçus.

*Au sujet de la dernière chronique de Jean-Patrick Toussaint sur les liens entre la destruction des écosystèmes et la transmission de maladies infectieuses :*

Ce texte m'ébranle pour sa choquante réalité. Il faut tous bouger. Maintenant. Il est impératif de changer le grave scénario qui est à nos portes. Certes, il faut bannir les avocats, l'huile de palme, l'énergie fossile, l'élevage industriel, etc. Mais il faut aussi que les scientifiques du monde entier se concertent pour guider les politiques, les décideurs, les entrepreneurs et les médias, sans quoi l'échec est inévitable. Je n'arrive pas encore à choisir une simple boîte de thon...  
On part de loin.

— Louise Laurion

*Au sujet de notre reportage sur la modélisation des épidémies :*

Très intéressant. Convertir des attitudes et des comportements humains en données comptables, c'est plus compliqué que ce que les gérants d'estrade pensent.

— Dominique Lapointe

On nous a présenté tellement de graphiques et de courbes depuis les dernières semaines. Il y avait de quoi en perdre son latin. Merci pour ce reportage qui m'a permis de mieux comprendre la complexité de cette science.

— Manon Éthier

*Au sujet du carnet de bord du D<sup>r</sup> François Marquis, chef de l'unité des soins intensifs de l'hôpital Maisonneuve-Rosemont :*

Depuis le début de la crise de la COVID-19, on a entendu *ad nauseam* les commentaires sur la lourdeur administrative du ministère de la Santé et des Services sociaux et son inefficacité chronique. On tend trop souvent à oublier que, même s'il est faillible et imparfait, notre système de santé est porté à bout de bras par des êtres humains dont le dévouement est exemplaire. À la lecture du carnet de bord du D<sup>r</sup> Marquis, on prend réellement conscience que la très grande majorité des intervenants du réseau de la santé de première ligne sont véritablement nos anges gardiens. La formule du premier ministre n'est pas trop forte.

— Gilles Savard

## 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 :  
[changementqs@velo.qc.ca](mailto:changementqs@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)



# FAIRE POUSSER UN GRATTE-CIEL

On le pensait relégué aux oubliettes depuis l'avènement du béton et de l'acier. Mais plus que jamais, le bois donne des rêves de grandeur aux concepteurs de gratte-ciel.

Par Caroline Chrétien



À Vancouver, Tokyo ou Londres, des planches à dessin sont noircies de plans de gratte-ciel en bois d'ingénierie, un nouveau produit robuste fabriqué en usine à partir d'une ressource vieille comme le monde. Depuis 2017, trois projets ont fait école, dont deux au Canada : les appartements en copropriété Origine, à Québec, et la résidence étudiante Brock Commons, à Vancouver. L'an dernier, la Norvège a battu le record de hauteur avec sa tour Mjøstårnet de 85,4 m.

L'édification de grands bâtiments en bois ne date pas d'hier. Les monuments bouddhiques d'Horyu-ji, au Japon, ont été érigés dès le septième siècle. Au Canada, des édifices industriels en bois et en brique sont apparus entre 1859 et 1940. Mais le béton et l'acier se sont imposés, propulsés par des prouesses comme la tour Eiffel et l'Empire State Building. Alexander

Salenikovich, ingénieur et professeur au Département des sciences du bois et de la forêt à l'Université Laval, souligne un autre point : « Une des premières préoccupations pour les codes du bâtiment était la sécurité quant aux incendies. » C'est pourquoi, jusqu'à tout récemment, la hauteur des constructions en bois était strictement limitée au Canada.

Mais la crise climatique bouleverse le secteur. Le World Green Building Council estime que l'industrie de la construction est responsable de 40 % des émissions mondiales de carbone. Cela préoccupe plusieurs architectes, séduits par les qualités du bois : production peu énergivore et séquestration du carbone, notamment. Depuis une vingtaine d'années, de nouveaux produits de bois d'ingénierie très performants ont nourri leurs ambitions. Le bois lamellé-croisé (CLT), par exemple, peut servir pour la structure des murs porteurs, des dalles de planchers et des toits.

Ce produit métamorphose les chantiers, selon Pierre Blanchet, titulaire de la Chaire industrielle de recherche du Conseil de re-

cherches en sciences naturelles et en génie du Canada sur la construction écoresponsable en bois. « Avec le béton, on va monter deux étages par mois, quand les conditions sont favorables. Pour le bois, on parle d'un étage par semaine », compare-t-il. Les pièces sont livrées dans l'ordre d'assemblage et chaque étage peut être scellé au fur et à mesure que les travaux avancent. La légèreté du bois permet d'asseoir des bâtiments sur des sols plus fragiles.

Mais une construction plus légère peut se révéler plus vulnérable aux effets du vent. Des chercheurs du Centre for Natural Material Innovation de l'Université de Cambridge, au Royaume-Uni, ont étudié les techniques d'ancrage au sol de même que la possibilité de renforcer le matériau à l'échelle moléculaire en injectant un composé dans les pores du bois. Les détails architecturaux peuvent aussi aider. « On peut briser le vent avec la forme du bâtiment, en ajoutant des courbes ou des trous dans la façade », illustre Alexander Salenikovich. Au lieu de frapper le bâtiment de plein fouet, le vent est donc dévié.



En 2015, Michael Green Architecture a conçu les plans d'un Empire State Building entièrement en bois. Le projet faisait partie d'une initiative de Metsä Wood, dont la mission est d'explorer les possibilités du bois dans la construction urbaine.



Le CLT est fabriqué en collant des planches de bois de manière perpendiculaire. On peut en faire de grands panneaux très robustes, qui remplacent plus ou moins les dalles de béton.



La résidence étudiante Brock Commons de l'Université de la Colombie-Britannique est un bâtiment hybride de 18 étages (53 m) comportant deux piliers de béton. Au moment de sa construction (2017), c'était le plus haut immeuble du genre dans le monde.

Même si les coûts peuvent encore être élevés, la construction en bois de plusieurs étages mérite qu'on s'y arrête, selon l'architecte canadien Michael Green. « Le plus grand problème, c'est le manque de connaissances », déplore-t-il. Ainsi, les bâtiments en bois massif résistent bien au feu, même si c'est contre-intuitif : le CLT ne brûle pas bien. Il explique aussi que l'approvisionnement est durable s'il se fait à partir de forêts certifiées, gérées pour minimiser les répercussions de la coupe sur les écosystèmes.

Faut-il pour autant construire d'immenses gratte-ciels en bois à tout prix? Ambitieux, Michael Green assure que la technologie existe. Alexander Salenikovich croit davantage aux constructions hybrides, qui misent sur la force de chaque matériau. Pierre Blanchet est pragmatique. « La réalité, c'est que, à moins que nos gouvernements se mettent à taxer le carbone des bâtiments, peu de ces grands projets se réaliseront. La logique économique finira par dominer. Le marché se situe plutôt dans les immeubles de 4 à 10 étages. » ●

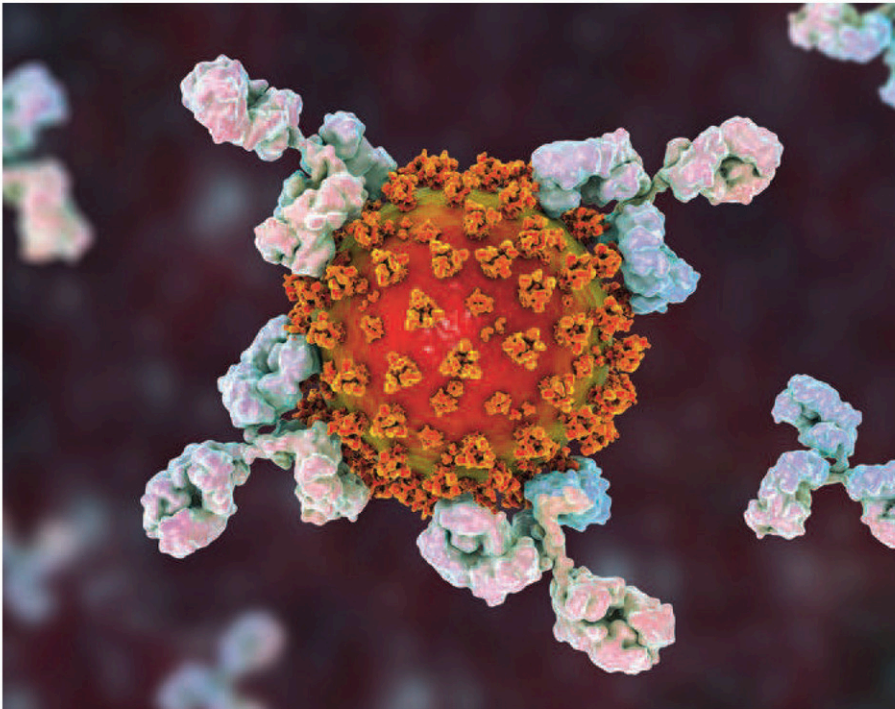


Les appartements en copropriété Origine, à Québec, comptent 13 étages : un podium en béton et 12 étages en bois massif. Le Québec est la première administration nord-américaine à avoir appuyé la construction de ce type de bâtiment. Grâce à cet exemple et à celui de Brock Commons, le Code national du bâtiment de 2020 doit d'ailleurs permettre la construction d'immeubles en bois allant jusqu'à 12 étages.

# Trouver l'aiguille dans la botte de foin

C'est une chasse au trésor mondiale : dénicher les anticorps qui neutraliseront le coronavirus, avant même de disposer d'un vaccin.

Par Marine Corniou



**L**isoler les anticorps les plus efficaces contre le virus de la COVID-19 pour en faire un médicament. Voilà la mission que poursuivent une cinquantaine d'entreprises et d'instituts de recherche dans le monde, motivés par un constat : les personnes qui guérissent de la maladie s'en tirent en grande majorité à l'aide de leur seul système immunitaire !

Ne reste plus qu'à mettre la main sur les meilleurs candidats et à les copier en laboratoire afin de les produire à grande échelle – une solution plus sûre et plus simple que les transfusions de plasma de donneurs convalescents. L'entreprise Immune Biosolutions, issue de l'Université de Sherbrooke, s'est lancée dans cette quête. « Avant la pandémie, nous avions toutes les connaissances et tous les outils en place pour trouver des anticorps champions contre le cancer. Nous avons changé nos plans pour nous attaquer

au coronavirus », indique Frédéric Leduc, chef de la direction et cofondateur de cette jeune pousse fondée en 2012.

Que ce soit contre une cellule cancéreuse ou un virus, les anticorps thérapeutiques, dits « monoclonaux » car tous identiques, agissent de deux façons : ils s'agrippent à leur cible, comme des tenailles, pour l'empêcher d'agir et ils alertent les cellules immunitaires pour qu'elles mènent l'assaut contre l'intrus. Très ciblés, ils ont à priori peu d'effets secondaires.

« Cette approche pourrait permettre d'avoir rapidement un traitement contre la COVID-19, avant même de disposer d'un vaccin. C'est d'ailleurs un cocktail d'anticorps, le ZMapp, qui a été utilisé en premier lors de l'épidémie d'Ebola en 2014-2016. Les anticorps pourraient aussi être administrés en prévention, pour protéger le personnel de santé », commente Jonathan Abraham, microbiologiste à la Harvard Medical School

et président d'un groupe de travail sur les traitements contre la COVID-19.

Persistant quelques semaines après leur injection dans le sang, ces soldats de l'immunité pourraient aussi donner un coup de pouce aux personnes âgées ou immunodéprimées, chez qui un vaccin pourrait être moins efficace.

Hélas, attraper ces missiles de précision n'est pas une mince affaire. Après une infection, l'organisme produit une foule d'anticorps qui reconnaissent divers morceaux du pathogène, mais qui n'ont pas tous le pouvoir de l'intercepter. Pour déceler des anticorps dits « neutralisants » contre le SARS-CoV-2, les chercheurs ciblent en priorité ceux qui se lient aux protéines S. Situées à la surface du virus, ces « pointes » lui servent de clé pour infecter les cellules. En mai, une équipe de Beijing a passé au crible plus de 8 500 anticorps issus de 60 patients convalescents et n'en a découvert que 14 très puissants contre le coronavirus. Autant d'aiguilles dans une botte de foin !

Si l'équipe chinoise pense disposer d'un traitement dès l'hiver, la compétition est serrée. À Vancouver, l'entreprise AbCellera, partenaire du géant Eli Lilly, a pu sélectionner 500 anticorps à partir du sang d'un patient américain dès la fin février et en a choisi un qui est en cours d'essai clinique. En Europe, le projet ATAC (Antibody Therapy Against Coronavirus) a examiné le sang de convalescents chinois et italiens et isolé 17 anticorps neutralisants, testés chez des primates. Quant au laboratoire américain Regeneron, il a lancé en juin des essais cliniques avec deux candidats obtenus grâce à des souris qui produisent des anticorps « humanisés ».

L'équipe d'Immune Biosolutions a également passé au peigne fin le plasma d'une dizaine de patients guéris, mais elle a surtout eu recours à des poulets pour dénicher ses candidats. « On leur injecte les protéines virales, puis on isole un par un leurs lymphocytes B, les cellules qui produisent les

# Le cimetière de mammoths

anticorps, dans des nanopuits. On en teste plusieurs centaines de milliers à la fois pour sélectionner ceux qui neutralisent le virus», explique Frédéric Leduc. Les «champions» ont été testés sur des animaux et les meilleurs pourraient entrer en phase clinique cet automne.

Il faudra pour cela les produire en grande quantité. Une fois un lymphocyte gagnant repéré, les chercheurs clonent sa séquence génétique qui code pour l'anticorps et l'insèrent dans des cellules cultivées dans des bioréacteurs (des cellules de hamster). Celles-ci produisent des anticorps en masse, qui sont ensuite extraits et purifiés.

Le processus est bien rodé : l'utilisation d'anticorps en médecine est en plein boom. Environ 80 d'entre eux ont été approuvés en Amérique du Nord et près de 200 sont en phase finale d'essais cliniques, principalement contre le cancer ainsi que les maladies inflammatoires et neurodégénératives. Leur emploi contre les maladies infectieuses, comme la COVID-19, est plus timide, même si certains sont commercialisés, entre autres contre la rage, l'anthrax et le *C. difficile*.

«Chez les agents infectieux, les cibles d'anticorps peuvent être variables et changer à cause des mutations génétiques : il est plus dur de trouver une cible unique pérenne», dit Guillaume Desoubaux, spécialiste des biomédicaments à l'Université de Tours, en France. Un cocktail de deux ou trois anticorps pourrait donc être nécessaire pour mater le SARS-CoV-2.

Mais il y a un autre obstacle de taille : chaque injection coûte plusieurs centaines de dollars, bien plus cher que d'éventuels antiviraux. «Leur potentiel thérapeutique est immense, mais le coût est la principale limite», estime Frédéric Leduc. En produisant son traitement au Québec, dans les installations existantes d'un partenaire encore tenu secret, Immune Biosolutions espère toutefois être compétitive et amener son champion jusqu'à la ligne d'arrivée. ●



«Il y en a des centaines, il y en a trop!» confiait l'archéologue Pedro Sánchez Nava à des journalistes en mai dernier. Il est dépassé par l'ampleur de sa découverte : en quelques mois, son équipe de l'Institut national d'anthropologie et d'histoire a mis au jour 60 squelettes de mammoths, sous une base militaire en passe d'être convertie en aéroport, au nord de la ville de Mexico.

Et ce n'est pas fini ! Il y a 12 000 ans, ce site bordait le lac Xaltocan, aujourd'hui disparu. Des mammoths de Colomb, espèce cousine nord-américaine du mammoth laineux, y venaient en troupeaux entiers pour se nourrir d'herbes et de roseaux. Ils ont été nombreux — mâles, femelles et petits — à s'embourber dans les marécages et à y mourir.

Pour l'instant, aucune trace d'outil n'a été décelée sur les ossements, mais les chercheurs n'excluent pas que les humains du coin aient pu profiter de cette viande offerte sur un plateau. En 2019, la même équipe avait d'ailleurs découvert les os de 14 mammoths, à 10 km de là, dans deux fosses de 25 m de long, creusées délibérément pour les piéger il y a 15 000 ans. ●

# S'inspirer des chauves-souris



Il existe 1 300 espèces de chauves-souris sur Terre, ce qui signifie qu'elles représentent à elles seules 20 % des espèces de mammifères. Sur cette photo figure une grande chauve-souris brune, une espèce présente au Québec.

Les chauves-souris ont la capacité de coexister avec des virus qui font du tort aux humains. Quel est leur secret?

Par Mélissa Guillemette

**L**infectez des cellules pulmonaires humaines en culture avec le coronavirus causant le syndrome respiratoire du Moyen-Orient (MERS) et elles mourront toutes. Faites de même avec des cellules rénales de grandes chauves-souris brunes et certaines d'entre elles continueront à se développer pendant des mois!

C'est précisément l'expérience qu'Arinjay Banerjee a réalisée avant même que la COVID-19 entre dans nos vies. Ce chercheur postdoctoral de l'Université McMaster fait partie d'une petite communauté mondiale qui veut comprendre comment les chiroptères sont devenus de vrais réservoirs à virus sans en souffrir. Depuis l'épidémie de syndrome respiratoire aigu sévère en 2002, les spécialistes ont trouvé plus de 200 coronavirus chez les chauves-souris. « Quand elles sont infectées par un virus, elles ont une inflammation très limitée, ce qui leur évite les symptômes, et elles ont une forte réponse antivirale. C'est le meilleur des deux mondes », assure Arinjay Banerjee.

Le système immunitaire des chauves-souris a évolué ainsi au fil de leurs 80 millions d'années sur Terre. De quoi rendre jaloux *Homo sapiens*, chez

qui l'inflammation provoque tant de problèmes; on le voit avec les patients atteints de la COVID-19 qui meurent en raison d'une réponse inflammatoire exagérée.

Comment ces petites bêtes réussissent-elles ce tour de force? Le comprendre fournirait des idées de cibles thérapeutiques à étudier chez l'humain. C'est peut-être grâce à leur aptitude à voler. En battant des ailes, leur température augmente, ce qui pourrait accroître l'efficacité de la réponse immunitaire. De plus, chez deux espèces asiatiques, une équipe a découvert des gènes qui réparent les dégâts dans l'ADN causés par l'augmentation de l'activité métabolique en vol. « Certaines des enzymes dans ce circuit de réparation jouent aussi un rôle dans la réponse antivirale, explique M. Banerjee. Ces protéines auraient évolué du même coup pour la réponse immunitaire. » Cette théorie reste à confirmer.

On ignore toujours quel animal est l'hôte naturel de SARS-CoV-2, bien que celui-ci ressemble de très près à un virus observé chez une espèce de chauve-souris. Des scientifiques s'inquiètent plutôt du scénario inverse : et si les humains transmettaient le virus de la COVID-19 aux chauves-souris? La recherche menée par Arinjay Banerjee le montre bien : le virus du MERS s'est adapté rapidement

aux cellules de chauves-souris grâce à une mutation. D'une part, elles pourraient ainsi devenir un réservoir difficilement contrôlable de SARS-CoV-2. D'autre part, le virus pourrait constituer une menace pour les chauves-souris déjà affectées par le syndrome du museau blanc, une infection fongique qui a décimé les populations de trois espèces canadiennes. Des travaux ont montré que les stressseurs (comme cette maladie ou une perturbation de l'habitat) peuvent détraquer l'immunité des chauves-souris.

Le risque de transmission de l'humain à la chauve-souris est très faible, indique toutefois Ariane Massé, biologiste au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec. « Mais par principe de précaution, les recherches qui impliquent des contacts avec les chauves-souris au Canada et aux États-Unis sont toutes suspendues cet été. »

Selon la scientifique, il faut surtout éviter de blâmer les chauves-souris et redoubler d'ardeur pour les protéger. « Elles nous rendent des services écologiques. Elles sont les principaux prédateurs des insectes nocturnes, dont des ravageurs qui s'attaquent à nos récoltes. En une heure de chasse, une chauve-souris peut consommer jusqu'à 600 insectes! » ●

# Les Émirats arabes unis en route vers Mars

**G**rosse comme une voiture, la sonde *Hope* s'apprête à faire le *road trip* de sa vie : 60 millions de kilomètres pour atteindre l'orbite de la planète Mars. Malgré la crise de la COVID-19, le bolide d'aluminium est parvenu à se rendre ce printemps de Dubaï au Centre spatial de Tanegashima, au Japon, en vue de sa préparation pour le décollage prévu ce 15 juillet.

Ce n'est qu'un début pour l'Agence spatiale des Émirats arabes unis, fondée en 2014 : elle veut établir une colonie sur Mars en 2117! « Traditionnellement, le pays misait sur ses puits de pétrole, mais sa stratégie est maintenant de se diversifier, raconte Dimitra Atri, chercheur au Center for Space Science de la New York University Abu Dhabi. La science et les technologies sont une partie de ce renouveau, tout comme l'exploration spatiale, dans laquelle le gouvernement investit beaucoup. » En septembre 2019, un premier astronaute émirien a d'ailleurs rejoint la Station spatiale internationale, et d'autres sont en recrutement.

Dimitra Atri travaille d'arrache-pied avec l'Agence spatiale et un réseau de chercheurs pour qu'ils soient prêts lorsque *Hope* arrivera à destination, vers février 2021, et que les données commenceront à être acheminées vers la Terre.

La sonde scrutera l'atmosphère de Mars pour au moins deux ans. Car on espère obtenir une réponse à l'une des grandes questions relatives à la planète rouge : pourquoi son atmosphère est-elle 100 fois plus mince que celle de la Terre? Tout indique que, à une certaine époque, la planète possédait une atmosphère suffisamment épaisse pour retenir la chaleur du Soleil et permettre à de l'eau de ruisseler sur ses sols.



« On pense que la principale raison de cette perte, c'est l'activité solaire, mentionne M. Atri, qui modélise le phénomène. Grâce à *Hope*, si une éruption ou une éjection de masse coronale du Soleil survient, on pourra observer ses effets sur Mars et mesurer quelle quantité de gaz s'échappe de l'atmosphère. Si l'on comprend bien ce phénomène physique, on pourra ensuite faire des calculs pour le futur. » Des prévisions particulièrement utiles quand on compte un jour y avoir un pied-à-terre...

La sonde fera des observations dans les domaines visible, infrarouge et ultraviolet pour ne rien manquer, et cela s'ajoutera au travail de la sonde MAVEN de la NASA, en orbite depuis cinq ans autour de la planète. Les relations entre les différentes couches de l'atmosphère seront étudiées, tout comme leur évolution au fil d'une journée et des saisons. La météo est également dans la mire de cette mission.

Mars ne dérangera pas cette année : des astromobiles seront envoyés par la Chine (*Tianwen 1*) et la NASA (*Perseverance*). « Il y aura d'importantes découvertes dans les 10 prochaines années, assure Dimitra Atri. C'est très excitant! » ● **M.G.**

CHLOÉ FRESLON  @f\_chloe

**Technopop**



## Le charme des plantfluencers

**U**n dimanche matin, je suis partie, fébrile, récupérer une plante que j'avais fait mettre de côté par l'entremise du compte Instagram d'une fleuriste du marché Jean-Talon, à Montréal. Je vous vois, lectrice ou lecteur, lever les yeux au ciel en lisant ces lignes. Je ne vous en veux pas. Mais sachez, à ma défense, qu'il ne s'agissait pas de n'importe quelle plante. C'était une *Monstera deliciosa*, un faux philodendron aussi appelé « plante d'Instagram » parce que ses feuilles perforées font de magnifiques photos. Je ne l'ai pas payée 3 000 \$, mais je mentirais si je disais que c'était bon marché. J'ai succombé aux chants des *plantfluencers* et des #monsteramonday.

En 2017, près du quart des plantes achetées aux États-Unis l'ont été par des personnes âgées de 18 à 34 ans. Ces trois dernières années, la vente de plantes dans ce même pays a augmenté de 50 %, selon la National Gardening Association.

Qui dit gros chiffres, dit gros sous à la clé... et donc des amasques potentielles. Connaissez-vous le philodendron rose du Congo? Lorsqu'il est apparu sur Instagram, l'engouement a été immédiat. Imaginez : une plante aux teintes rosées! Y a-t-il quelque chose de plus parfait pour Pinterest? La folie a été de courte durée. Dans les serres, on traitait ces plantes chimiquement pour que leurs feuilles deviennent roses. Au bout de quelque temps, elles redevenaient vertes. Même si la supercherie a été révélée, il s'en vend encore sur Etsy et eBay à près de 100 \$ l'unité.

Comment peut-on arriver à vendre des végétaux si cher? Les millénariaux (dont je fais partie) adorent le jardinage et les raisons sont multiples. D'abord, c'est une activité qui oblige à ralentir et qui ne demande pas d'écran. J'y trouve personnellement une forme de méditation et de lenteur qui calme mes humeurs, s'inscrivant dans le mouvement du bien-être personnel si précieux pour notre génération et notre santé mentale.

De plus, comme on fonde des familles plus tard et qu'acheter une maison est rendu quasiment impossible, posséder des plantes nous permet de croire que nous sommes de vrais adultes, à défaut d'en avoir les attributs traditionnels. On arrive à croire qu'on est capables de s'occuper de « quelqu'un ».

En cette période difficile et incertaine, j'aime prendre le temps de regarder mes plantes naître, mais surtout accepter que parfois des feuilles brunes vont apparaître et finir par tomber. Il n'y a rien que je puisse faire contre ça. Et c'est correct. C'est la nature, c'est vrai. La vie n'est pas une photo Instagram parfaite. ●



JEAN-FRANÇOIS CLICHE  @clicjf

## Polémique

# Anatomie d'un « champ de bataille »

Quand ils entendent des bribes du « débat » qui fait rage au sujet des vaccins sur les réseaux sociaux, bien des gens (dont moi) ont le réflexe de hausser les épaules. Après tout, se dit-on, les bienfaits des campagnes d'immunisation sont si bien démontrés et le rejet des faits scientifiques des antivaccins est si évident qu'il est inconcevable que leur mouvement sorte un jour de la marginalité, n'est-ce pas? Une étude parue en mai dans *Nature* incite à réviser cette croyance : les données ont beau être du côté des vaccins, le « champ de bataille » virtuel, lui, n'est pas à leur avantage.

Une équipe menée par le physicien de l'Université George Washington Neil Johnson a analysé le contenu et les commentaires laissés lors de l'écllosion de rougeole de 2019 sur quelque 1 300 pages Facebook rassemblant 85 millions d'internautes à travers le monde. Les auteurs ont classé ces communautés virtuelles en trois catégories : les provaccins, les antivaccins et les neutres. « Les communautés neutres de notre étude peuvent ne discuter que rarement de vaccins, mais quand elles le font, on y trouve des opinions des deux côtés », m'a dit M. Johnson dans un échange de courriels. Il peut s'agir d'une association de parents d'école ou d'organisations

de sports pour enfants par exemple. Les chercheurs ont ensuite accordé une attention particulière aux « liens » entre ces pages, c'est-à-dire quand une page en recommande une autre à tous ses membres. Cela leur a permis de cartographier l'influence des groupes anti- et provaccins. Le tableau qui s'en dégage est déprimant : les pages des antivaccins sont beaucoup mieux imbriquées dans celles des communautés neutres et occupent une place beaucoup plus centrale que les pages des provaccins qui, elles, se trouvent plus en périphérie. Et cela s'est aggravé au cours de l'écllosion de rougeole : certains des groupes antivaccins ont vu leurs nouveaux membres croître de 300 % entre février et octobre 2019, alors qu'aucune des communautés provaccins n'a dépassé les 100 % d'augmentation. En outre, toujours pendant la même période, les pages neutres ont fait plus de liens vers les anti- que vers les provaccins.

C'est inquiétant, souligne Neil Johnson, parce que, même si les communautés neutres ne sont pas uniquement axées sur les vaccins, « le fait que ces gens se font confiance sur un autre sujet, tels les

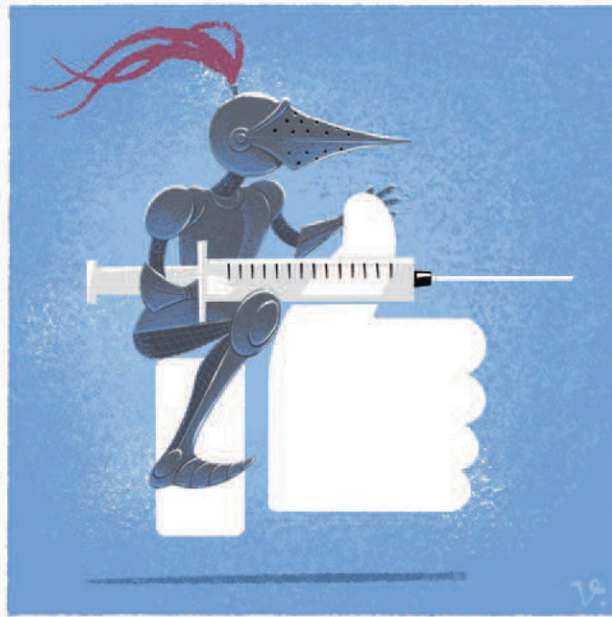
sports pour enfants, implique qu'ils vont probablement s'écouter assez attentivement les uns les autres sur d'autres sujets tels que les vaccins. Comme ils sont devenus plus liés aux antivaccins durant l'écllosion de rougeole, cela montre qu'ils se sentent plus interpellés par le thème de la méfiance à l'égard des vaccins, même s'ils n'en parlent pas souvent. Et, plus important, cela signifie qu'ils sont probablement plus exposés maintenant aux opinions des pages antivaccins, ce qui pourrait éventuellement les faire basculer ».

Plusieurs caractéristiques de ces réseaux pourraient expliquer tout cela. D'abord, écrivent les chercheurs, les pages antivaccins ont en moyenne moins d'abonnés, mais elles sont plus nombreuses que les pages provaccins. L'étude dénombre 124 pages provaccins fortes de 6,9 millions d'abonnés, alors que les pages antivaccins ne comptent que 4,2 millions de membres, mais répartis en 317 communautés. Cela leur donne plus de points à partir desquels s'arrimer aux communautés neutres pour, potentiellement, les influencer.

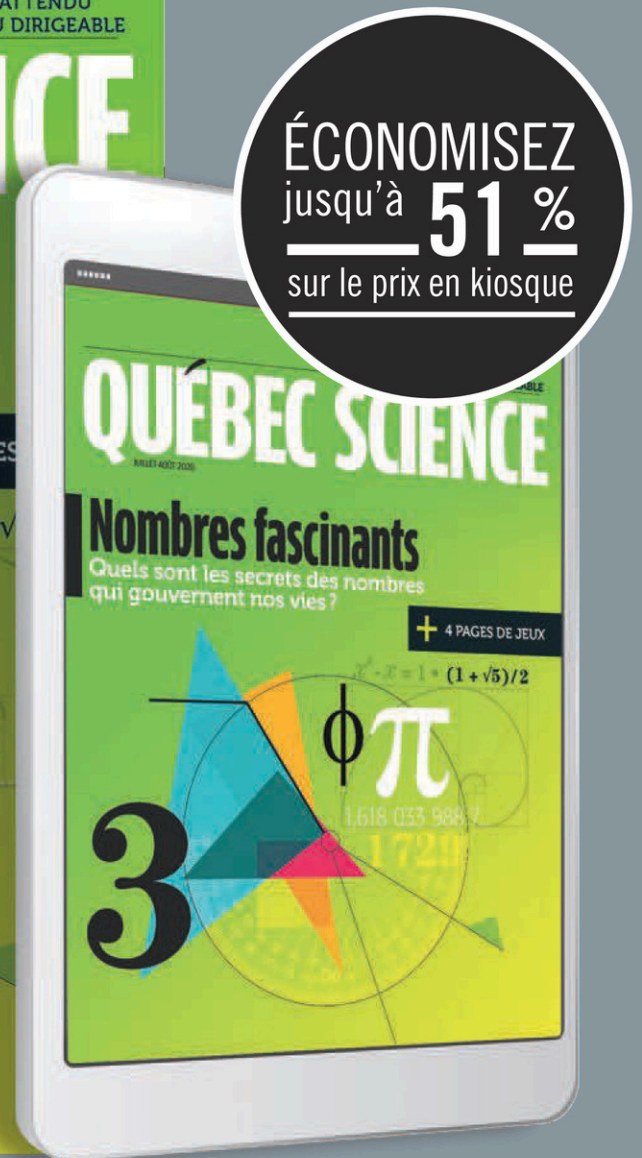
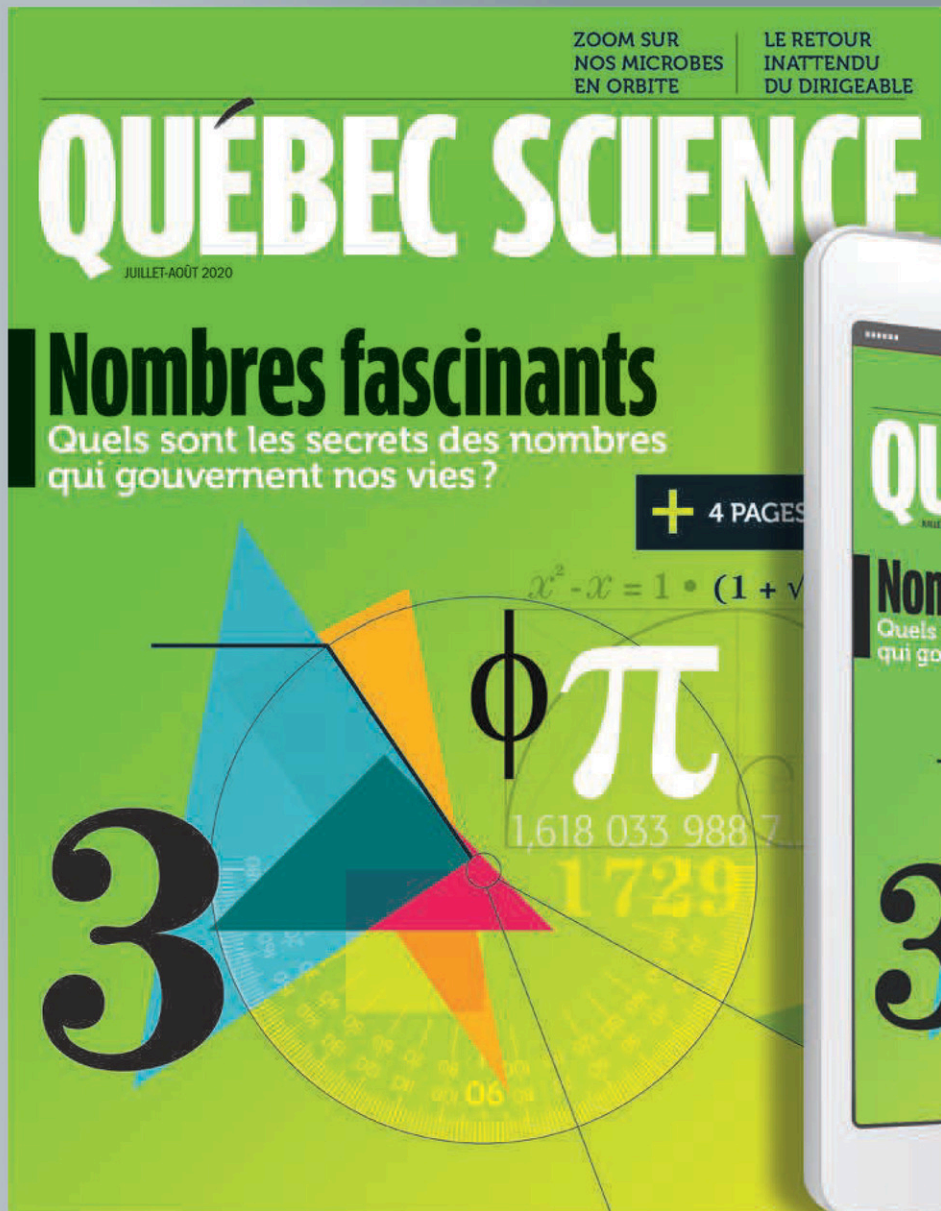
Alors que les pages provaccins sont très uniformes et monothématiques, celles des communautés antivaccins mélangent une grande diversité de thèmes et de trames narratives, allant des inquiétudes quant aux effets secondaires des vaccins à diverses théories du complot en passant par la « santé naturelle » et les médecines dites

parallèles. Elles ont donc plus d'hameçons à l'eau, si je puis dire, et possiblement plus de chances d'en avoir un qui résonnera dans une communauté neutre. Bref, concluent les auteurs, tout cela « révèle que le modèle traditionnel d'action de masse [souvent utilisé par les autorités sanitaires pour promouvoir les vaccins] ne convient pas pour élaborer des politiques publiques » ni pour gagner le débat en ligne.

Je ne peux m'empêcher d'établir des liens (un brin spéculatifs, je dois l'avouer) entre cette étude et tous ces sondages qui montrent un effritement de la confiance à l'égard des vaccins dans le monde. Si les résultats de Neil Johnson sont confirmés par d'autres travaux, cela nous signalera qu'il faut changer de stratégie. Mais on ne sera pas forcément sorti du bois. À l'heure actuelle, les efforts de promotion de la vaccination sont plutôt centralisés autour des autorités sanitaires et de quelques grandes fondations. S'il faut réorganiser tout cela pour mener une campagne de type guérilla, avec une structure plus diffuse pour livrer une foule de petites batailles « page par page », la tâche s'annonce lourde... ●



# L'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE À LA PORTÉE DE TOUS



ÉCONOMISEZ  
jusqu'à **51%**  
sur le prix en kiosque

ÉDITIONS PAPIER ET NUMÉRIQUE			ÉDITION NUMÉRIQUE
<b>1 AN</b>	8 numéros	<b>36 \$</b>	<b>27 \$</b>
<b>2 ANS</b>	16 numéros	<b>58 \$</b>	<b>43 \$</b>
<b>3 ANS</b>	24 numéros	<b>81 \$</b>	<b>60 \$</b>

(plus taxes)

**ABONNEZ-VOUS >**

[quebecscience.qc.ca/abonnement](http://quebecscience.qc.ca/abonnement)  
514 521-8356 - 1 800 567-8356, poste 504

# COVID-19 : une laisse numérique pour suivre le virus à la trace

Partout dans le monde, des États prennent de grands moyens technologiques dans l'espoir de stopper la pandémie. Une traque qui soulève de nombreuses questions d'ordre social, éthique et juridique.

Par Maxime Bilodeau

Il n'y a pas que le trio composé de François Legault, Horacio Arruda et Danielle McCann qui s'est réuni sur une base régulière tout au long de la crise sanitaire de la COVID-19. Tous les vendredis depuis le début avril, sans exception, une quinzaine de chercheurs issus d'universités du Québec et de l'Ontario se regroupent virtuellement pour évaluer les effets des technologies dans la lutte contre le nouveau coronavirus. Le mandat ambitieux de ce comité : exercer une veille des dispositifs utilisés aux quatre coins de la planète pour recenser les cas de contamination, retracer les déplacements de personnes infectées et s'assurer du respect des mesures de confinement tout en faisant avancer la réflexion à leur sujet. C'est Lyse Langlois, directrice scientifique de l'Observatoire international sur les impacts sociétaux de l'intelligence artificielle et du numérique (OBVIA), qui a pris la tête de ce comité spécial financé par les Fonds de recherche du Québec. « Très tôt dans la crise, nous avons commencé à entendre parler des moyens extraordinaires mis en place par les autorités de plusieurs pays asiatiques pour stopper la pandémie, notamment en ce qui a trait aux applications de notification de contacts. Dès lors, c'était clair qu'il fallait se pencher sur les répercussions de ces technologies sur la société », mentionne la professeure du Département des relations industrielles de l'Université Laval, qui s'inquiète de l'absence de débat public à leur propos.

**Québec Science : Quelle est la teneur des discussions hebdomadaires du comité que vous pilotez ?**

**Lyse Langlois :** Nous discutons des différents chantiers que nous avons mis en branle depuis le début de la pandémie, comme celui sur les effets sociétaux que pourraient avoir les systèmes d'intelligence artificielle [IA] et les outils numériques employés pour lutter contre la propagation de la COVID-

19. Nous en profitons pour faire le point sur la situation, qui ne cesse d'évoluer, et pour inviter des intervenants clés. Par exemple, le spécialiste en IA Yoshua Bengio, de Mila, l'Institut québécois d'intelligence artificielle, nous a expliqué l'application de notification de contacts COVI conçue par son équipe. Très tôt dans le processus, il a répondu à nos questions sur la conception de l'application mobile, sur les étapes prochaines dans son opérationnalisation et sur son acceptabilité sociale.

**QS Nous avons appris récemment que le projet de Mila n'irait pas de l'avant, le gouvernement Trudeau lui préférant une application développée par le Service numérique canadien en collaboration avec Shopify, BlackBerry et le gouvernement de l'Ontario. Chose certaine, il n'est pas le seul à penser à l'emploi d'une telle solution pour évaluer les risques d'infection.**

**LL** En effet ! Un prérapport publié à la fin avril et auquel ont collaboré des chercheurs de l'OBVIA a brossé un tableau brut de la situation – une recension plus complète devrait être diffusée bientôt sous forme de livre blanc. Le document préliminaire fait état de plus d'une quarantaine d'applications de notification de contacts, de suivi de contacts et de surveillance des mouvements de population en développement ou en cours d'implantation dans plus d'une vingtaine de pays. On y lit que 28 % des applications proposées jusqu'à maintenant ne disposaient pas de politique déclarée de respect de la vie privée. Autre fait notable : environ les deux tiers recourent au système de localisation GPS pour suivre les déplacements des personnes, alors qu'un tiers privilégient la technologie Bluetooth.

**QS Qu'est-ce qui explique la cristallisation du débat autour de cet enjeu précis du recours au système GPS plutôt qu'à la technologie Bluetooth ?**

**LL** En gros, le premier est moins respectueux de la vie privée que la seconde.

Pour bien saisir la différence entre GPS et Bluetooth, il faut s'intéresser à la notion de proportionnalité des données collectées. Quelles données le sont ? À quelle fin ? Pour combien de temps ? Qui y aura accès ? Quand seront-elles détruites ? Aussi, faut-il centraliser les données recueillies et accepter une certaine mainmise des GAFA [Google, Apple, Facebook, Amazon] sur celles-ci ? Ou est-il préférable de les décentraliser, c'est-à-dire ne permettre leur partage que pair à pair ? On ne peut jamais complètement anonymiser les données, c'est impossible. Le recours à des chaînes de blocs [blockchains] permet néanmoins d'atteindre de hauts standards en la matière.

**QS Quel est le degré d'acceptabilité sociale au Québec à l'égard des applications de notification de contacts ?**

**LL** On ne le sait pas. Nous disposons bien de quelques données sur le sujet grâce au Baromètre CIRANO sur la perception des risques des Québécois. Elles ne permettent toutefois pas de creuser le sujet de l'acceptabilité sociale de ces technologies, du moins pas autant que nous le désirons. Jusqu'où la population est-elle prête à consentir à cette surveillance en contexte de pandémie ? Est-elle prête à sacrifier certaines valeurs pour la permettre ? Comprend-elle les enjeux éthiques sous-jacents ? Pour pallier ce manque, nous avons convenu de mettre sur pied notre propre baromètre d'acceptabilité sociale sur le sujet. Notre espoir est que son élaboration permette la tenue d'un véritable débat citoyen sur la question des technologies de traçage. À l'heure actuelle, cette discussion n'a pas lieu.

**QS Nous sommes pourtant face à un réel enjeu démocratique, non ?**

**LL** Oui, et c'est pourquoi il y a d'énormes préoccupations dans la communauté scientifique quant au recours à ces technologies, que nous voudrions voir précédé d'un débat de société. N'allez pas croire que je suis

contre la technologie. Au contraire: je suis consciente des avantages indéniables qui découlent de son utilisation. Par contre, il ne faut pas la voir comme *la* solution ultime pour vaincre le virus. C'est un faux sentiment de sécurité, qui peut d'ailleurs nuire à la poursuite de ces gestes barrières que les autorités de santé publique nous implorent de poser, comme se laver régulièrement les mains et s'éloigner physiquement des autres. La technologie est plutôt un outil parmi d'autres pour favoriser une sortie de crise graduelle et sans anicroche. J'ajouterais que le dépistage des êtres humains, c'est bien, mais que le dépistage de la maladie, c'est encore plus fondamental.

**QS Mais des pays ont fait l'économie de ce débat pour accélérer leur lutte contre la pandémie.**

**LL** Dans les pays où des technologies de traçage ont été mises en place, voire imposées jusqu'à maintenant, le succès semble plutôt mitigé. À certains endroits, le discours gouvernemental est empreint d'hypocrisie. Le recours à de telles applications est volontaire, mais si l'on ne les installe pas sur son téléphone intelligent, on ne peut se prévaloir de certains droits, comme utiliser les transports en commun. Il y a tout un travail d'éducation

et de réflexion collective qui n'a pas été fait. La majorité des experts s'accorde pour dire qu'il semble inévitable que nous vivrions d'autres crises du genre dans les prochaines années et décennies. Or, il faudra repenser nos politiques de santé publique pour s'assurer que nous serons collectivement capables de faire face à la situation lorsqu'elle se représentera. Un tel forum s'inscrit en partie dans cet objectif. Le Québec se démarquerait véritablement s'il tenait un tel exercice démocratique.

**QS A-t-on vraiment le luxe de débattre sur la place publique pendant que des gens meurent tous les jours de la COVID-19?**

**LL** Si l'on ne veut pas que la crise de la COVID-19 soit un jalon majeur de notre histoire, celui où nous avons renoncé collectivement à une bonne partie de notre vie privée, nous devons prendre le temps d'en discuter. En outre, il ne faut pas opposer nos libertés individuelles à la santé, renoncer aux premières pour préserver la seconde. Au contraire: il y a moyen d'atteindre ces deux objectifs concomitants, de les concilier. Dans le fond, l'enjeu central, c'est de se doter de solides politiques de santé publique respectueuses des enjeux éthiques et légaux. En ce moment, nous

sommes malheureusement pris dans une urgence où le danger de court-circuiter les nécessaires réflexions éthiques, au nom de la lutte contre le nouveau coronavirus, est bien réel.

**QS Étions-nous prêts, au début de la crise, à entamer ces réflexions?**

**LL** Des balises et principes étaient en place. Je pense notamment au règlement général sur la protection des données de l'Union européenne, aux 10 recommandations de l'Organisation de coopération et de développement économiques sur l'IA, à la Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'intelligence artificielle... En France, le rapport sur l'IA rédigé par le mathématicien et député Cédric Villani contenait des recommandations pour permettre un déploiement éthique de l'IA et du numérique en tout respect de la confiance du public. On y parlait de poursuivre des objectifs avantageux pour la société, de favoriser la responsabilité, la transparence, l'explicabilité... Sa conclusion? La protection de la vie privée ne demande pas de renoncer à nos aspirations éthiques. ●

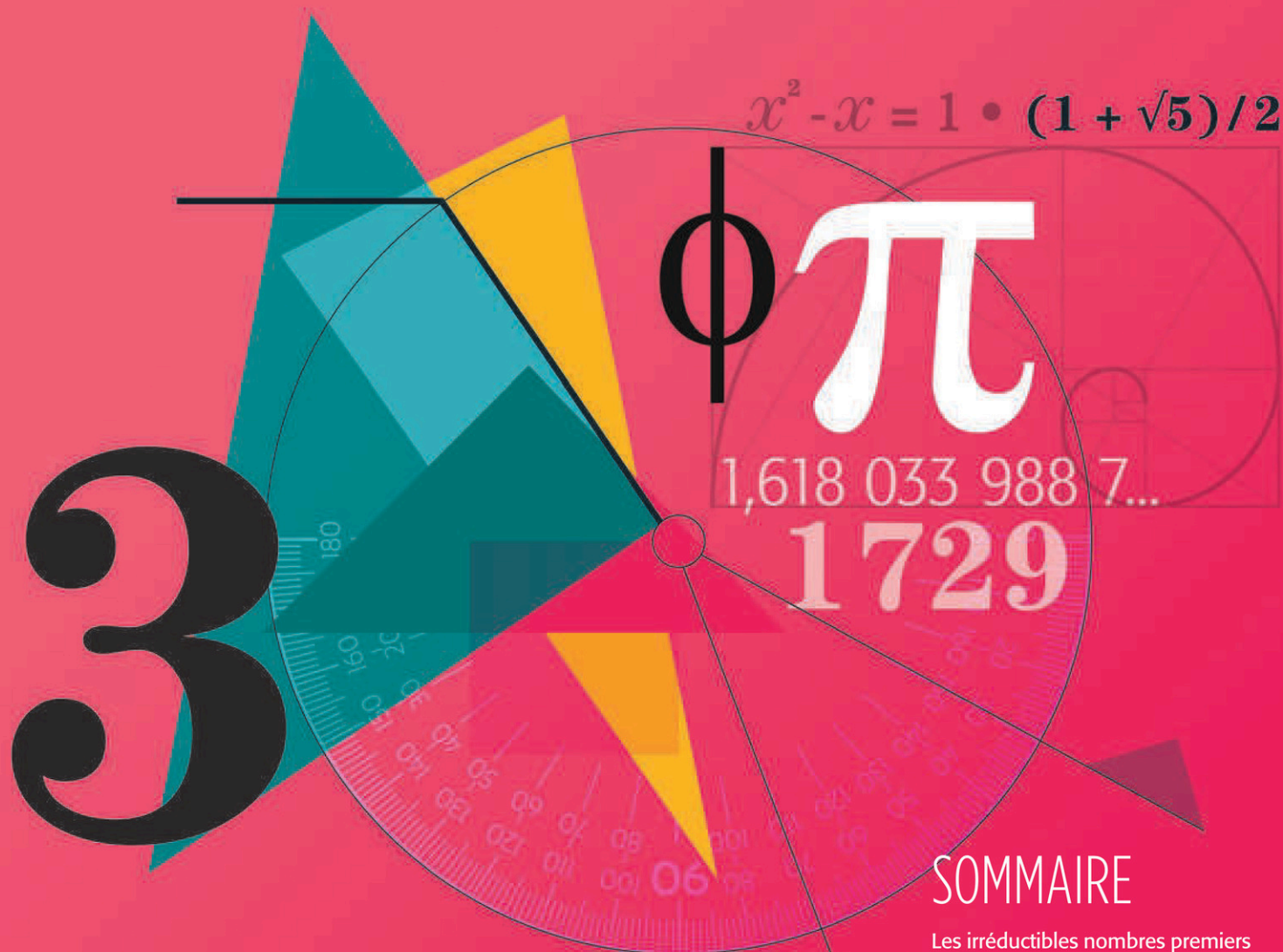
**PLANÈTE +**  
LA CHAÎNE DOCUMENTAIRE

# MATIÈRE GRISE

Une série en 3 épisodes à découvrir dès le 10 juillet

Disponible chez les principaux câblodistributeurs  
[planetepiuscanada.com](http://planetepiuscanada.com)

# Les nombres et leurs secrets



## SOMMAIRE

Les irréductibles nombres premiers	18
Les dessous de la perfection	20
Le hasard fait bien les nombres	22
Nombres fascinants	24
Jeux et énigmes	26

# LES IRRÉDUCTIBLES NOMBRES PREMIERS

Fétiches des mathématiciens, les nombres premiers obéissent-ils à une règle cachée ?

PAR MARINE CORNIOU

## En

science, rares sont les sujets qui piquent encore la curiosité après plus de 2 000 ans de recherche. Les nombres premiers font partie de ces éternels mystères : ils ont tenu en haleine les plus grands mathématiciens et, aujourd'hui, même les ordinateurs les plus puissants se cassent les dents – ou plutôt les circuits – sur les questions qu'on se posait déjà dans l'Antiquité.

La définition de ces nombres est pourtant d'une simplicité désarmante. Un nombre entier est premier s'il n'est divisible que par 1 et par lui-même. Autrement dit, s'il ne peut être « fragmenté » en plus

petits éléments. Ainsi, 17 est un nombre premier, mais 15 ne l'est pas, car on peut le décomposer en  $3 \times 5$ .

La série commence par 2, 3, 5, 7, 11... et se poursuit à l'infini. « Ce sont les briques fondamentales des mathématiques, l'ADN des nombres entiers », résume Andrew Granville, spécialiste de la théorie des nombres à l'Université de Montréal.

De fait, n'importe quel entier peut se décomposer en une combinaison unique de ces briques de base : 35 est  $5 \times 7$ ; 221 s'écrit  $13 \times 17$ ; et 2010,  $2 \times 3 \times 5 \times 67$ . Pas autrement. On doit ce « théorème fondamental de l'arithmétique » à Euclide, même s'il n'a été démontré qu'en 1801.

Qu'a-t-on découvert sur ces nombres depuis la Grèce antique ? Pas mal de curiosités, mais l'essentiel nous échappe encore : ils semblent n'obéir à aucune règle, si bien qu'on ne dispose pas de formules simples permettant de révéler tous les

nombres premiers, ni d'en énoncer à coup sûr, ni même de trouver celui qui suit ou précède un autre nombre premier.

Si ces trublions sont si durs à cerner, c'est parce qu'ils semblent avoir été semés aléatoirement le long de la ribambelle des entiers, dans l'unique but de torturer les mathématiciens.

Il n'y a qu'à regarder la liste des nombres premiers inférieurs à 100 pour s'en convaincre. Ils sont tous impairs (à l'exception de 2), mais les écarts entre eux n'ont rien de prévisible. Nulle règle ne semble gouverner leur répartition.

Paradoxalement, la distribution des nombres premiers est trop étrange pour n'être due qu'au hasard. Lucile Devin en sait quelque chose. Cette postdoctorante dans l'équipe d'Andrew Granville s'intéresse à un problème simple à formuler, mais difficile à résoudre, « comme tous les problèmes qui concernent les nombres

premiers». Il se résume comme suit : quel est le reste de la division par 4 d'un nombre premier? Par exemple, si l'on divise 19 par 4, il reste 3 ( $4 \times 4 = 16$  et il reste 3). Si l'on divise 17 par 4, il reste 1. « Dans tous les cas, il n'y a que ces deux réponses, 1 ou 3. Un théorème du 19<sup>e</sup> siècle dit qu'il n'y a pas de raison pour que l'un ou l'autre se produise plus souvent, indique-t-elle. Or, quand on observe les nombres premiers, il y en a plus qui donnent un reste de 3 et l'on ne sait pas pourquoi. » Armée « d'un papier et d'un crayon », elle essaie de trouver une théorie qui expliquerait ce biais dit de Tchebychev.

En 2016, deux mathématiciens de l'Université Stanford, Kannan Soundararajan et Robert Lemke Oliver, ont trouvé un autre « couac » en passant en revue (par ordinateur) 400 milliards de nombres premiers. Hormis 2 et 5, tous se terminent par le chiffre 1, 3, 7 ou 9. À priori, la probabilité qu'un nombre premier finissant par 1 soit suivi d'un autre se terminant par l'un de ces quatre chiffres est de 25% pour chaque chiffre si le hasard est respecté. Mais le duo a découvert des irrégularités : ainsi, un nombre premier finissant par 1 a 30% plus de chances qu'attendu d'être suivi d'un premier se terminant par 3 ou 7. Et il est rare que deux nombres premiers successifs finissent par le même chiffre. « Personne n'avait jamais remarqué cela », s'amuse Andrew Granville.

## FAUX CHAOS ?

À première vue, donc, les particules élémentaires de l'arithmétique sont manifestement imprévisibles. Mais si l'on s'éloigne pour observer le tableau d'ensemble, notamment en s'intéressant aux très grands nombres premiers, certaines tendances émergent.

Plus les nombres sont grands, plus la proportion de nombres premiers parmi eux décroît. Cette rarefaction a été mise en équation par Carl Friedrich Gauss au 18<sup>e</sup> siècle. « À 15 ans, il a remarqué que la densité des nombres premiers autour d'un nombre  $x$  est approximativement  $1/\ln(x)$  [ $\ln$  est le logarithme, une notion bien connue en mathématiques] et cela a été prouvé », détaille Andrew Granville.

Peu importe si le terme *logarithme* ne vous dit rien : il permet d'estimer les chances qu'un nombre pris au hasard soit premier (et donc d'estimer la proportion de nombres premiers dans un intervalle donné) sans trop se tromper. La preuve qu'il y a bien une sorte d'ordre derrière l'apparent chaos. Par exemple, cette loi prévoit 72 nombres premiers dans l'intervalle entre 1 000 000 et 1 001 000. En réalité, il y en a 75 : pas si mal!

Ce constat est à la base de l'une des plus grandes quêtes des mathématiques : prouver l'hypothèse de Riemann, énoncée par le génie Bernhard Riemann en 1859, qui permettrait de trouver l'emplacement de chaque nombre premier avec une marge d'erreur négligeable. La formule est inexplicable aux communs des mortels (elle repose sur une fonction nommée « zêta »), mais elle pourrait élucider la distribution erratique des nombres premiers, qui se succèdent parfois avec un écart de 2 (les « jumeaux »), de 6 (les « sexy ») ou... de plusieurs millions.

Depuis 160 ans, les mathématiciens essaient sans succès de démontrer cette hypothèse, qui est l'un des sept « problèmes du millénaire » désignés par l'Institut de mathématiques Clay. Cet organisme privé offre une récompense de un million de dollars à quiconque parviendra à résoudre l'énigme...

En attendant, le mystère a du bon. « Quelque part, cela tombe bien qu'il n'y ait pas de formule, sinon tous nos algorithmes de sécurité tomberaient à l'eau! » indique Lucile Devin. Les transactions par carte bancaire et les échanges de données sur Internet reposent en effet sur une technique de cryptographie qui consiste à trouver les diviseurs premiers d'un nombre immensément grand (plus de 200 chiffres). En l'absence de règles, la seule solution est de tester toutes les combinaisons possibles jusqu'à obtenir le résultat et déchiffrer le message. « Cela prend tellement de temps qu'on peut déceler les attaques avant qu'un pirate y arrive », résume la chercheuse. Grâce à ces nombres irréductibles, nos secrets sont donc bien gardés... pour l'instant. ●

## LES DEUX PROBLÈMES LES PLUS CÉLÈBRES (et non résolus)

**1. Les nombres premiers jumeaux**  
Y a-t-il une infinité de nombres premiers « jumeaux », qui ne sont séparés que par 2 (comme 17 et 19 ou 641 et 643)? On ne l'a jamais prouvé, bien qu'on ait trouvé des couples jusqu'à des nombres astronomiques, par exemple

$2\ 003\ 633\ 613 \times 2^{195\ 000} - 1$   
et  
 $2\ 003\ 633\ 613 \times 2^{195\ 000} + 1$

**2. La conjecture de Goldbach**  
Est-elle vraie? Elle dit que tout nombre pair supérieur à 2 peut s'écrire comme la somme (et non le produit) de deux nombres premiers. Elle a été vérifiée pour tout nombre pair inférieur à  $10^{18}$ , mais n'a pas encore été démontrée.

À LIRE SUR LE WEB :  
En quête d'une formule pour les nombres premiers  
[www.quebecscience.qc.ca/sciences/formule-premiers](http://www.quebecscience.qc.ca/sciences/formule-premiers)

# LES DESSOUS DE LA PERFECTION

N'est pas parfait qui veut. La preuve est mathématique : à ce jour, il n'y a que 51 nombres parfaits confirmés.

PAR MÉLISSA GUILLEMETTE



**Ils** sont jolis comme tout. Les nombres parfaits sont des entiers égaux à la somme de leurs diviseurs. Ainsi, 6 se divise par 2, 3 et 1. En additionnant 2, 3 et 1, on arrive à 6! Même chose pour 28, somme de  $1 + 2 + 4 + 7 + 14$ . N'est-ce pas magnifique? Ils sont assurément mythiques depuis des millénaires. Plusieurs textes religieux affirment ainsi que la Terre a été créée en 6 jours. Le cycle lunaire est aussi harmonieux avec ses 28 jours. Deux nombres dits « parfaits », terme élaboré par les pythagoriciens il y a plus de 2 500 ans. « Les mathématiques et la philosophie étaient liées à l'époque, rappelle Chantal David, professeure de mathématiques à l'Université Concordia. Dans les deux cas,

on étudiait l'Univers. » Environ 300 ans avant notre ère, Euclide d'Alexandrie s'est intéressé à ces étrangetés de façon mathématique et a découvert une manière de les repérer. Il lui suffisait d'abord de trouver un nombre premier résultant d'une puissance 2 de laquelle on soustrait 1. Par exemple,

$$2 \times 2 = 4$$

$$4 \times 2 = 8$$

$$8 - 1 = 7$$

En multipliant ce nombre premier (7) par le résultat de la multiplication par 2 précédente (ici le 4), on obtient un nombre parfait : 28. La formule d'Euclide résume cela. Lui-même est parvenu à désigner les quatre plus petits.

Puis, « 2 000 ans plus tard, [le mathématicien suisse] Leonhard Euler a montré que les seuls nombres parfaits pairs sont ceux prévus par la formule d'Euclide, poursuit Chantal David. Cela a donné le théorème d'Euclide-Euler; on l'enseigne à l'université dans les cours de théorie des nombres. »

## DES NOMBRES IMMENSES

Plusieurs mystères les entourent toujours. Pour commencer, en existe-t-il un nombre infini? « En utilisant un modèle probabiliste qui englobe toutes nos connaissances actuelles, on en obtient une infinité, explique la mathématicienne. Mais il y a peut-être une relation qu'on n'a pas vue, quelque chose qu'on n'a pas mis dans nos modèles. »

Même si la réponse n'est pas précise, des travaux ont néanmoins révélé que les nombres parfaits ne courent pas les rues. La distance entre deux nombres parfaits croît de façon exponentielle : s'il y en a 2 sous la barre de 100, on n'en compte que 4 sous la barre du million. Au total, on connaît 51 nombres parfaits pour le moment. La grande majorité a été découverte après les années 1950. La dernière trouvaille date de 2018 et comporte pas moins de 49 724 095 chiffres !

À quand le 52<sup>e</sup>? « Ces nombres sont tellement grands qu'ils n'entrent pas dans le registre [la mémoire interne] de l'ordinateur, alors il faut trouver d'autres façons de les représenter, dit la professeure David. C'est vraiment une science de travailler avec ces nombres. Cela demande des machines très puissantes, mais surtout de bons algorithmes. Moins ils contiennent d'étapes, plus ils sont rapides. »

L'autre question qui taraude les chercheurs : existe-t-il des nombres parfaits impairs? Certains affirment même que c'est le plus vieux problème mathématique non résolu. À tout le moins, on sait que, s'il y en avait un, ce serait un mastodonte, puisque des calculs laissent croire qu'il n'existe pas sous la barre de  $10^{300}$ . À titre de comparaison, l'Univers visible compterait  $10^{80}$  atomes, selon des estimations!

« On est un peu coincés en ce moment; les méthodes pour s'attaquer à ce problème ont atteint leurs limites, mentionne Paul Pollack, professeur de mathématiques à l'Université de Géorgie, aux États-Unis, qui a publié plusieurs

articles scientifiques sur les nombres parfaits. On peut donc tenter plutôt de voir quelles seraient les conditions nécessaires pour obtenir un nombre parfait impair. Pace Nielsen, un mathématicien, a ainsi montré [en 2010] qu'il faudrait que ce nombre possède au minimum 10 facteurs premiers. »

M. Pollack s'est tourné vers les cousins des nombres parfaits pour éviter le cul-de-sac. Un nombre peut en effet adopter le slogan « À deux, c'est mieux » et être parfait avec un copain. Il sera alors considéré comme un nombre « amiable » ou « amical ». Pour cela, il faut que la somme de ses diviseurs soit égale à la valeur de son « ami » et que la relation soit réciproque. Cette citation attribuée à Pythagore dit tout : « Un ami est l'autre moi-même comme sont 220 et 284. » L'addition des diviseurs de 220 le démontre bien :

$$1 + 2 + 4 + 5 + 10 + 11 + 20 + 22 + 44 + 55 + 110 = 284$$

Sans oublier les diviseurs de 284 :

$$1 + 2 + 4 + 71 + 142 = 220$$

Plusieurs milliers de couples ont été mis au jour au fil des siècles. Fait intéressant : les nombres amiables impairs existent (12 285 et 14 595 sont les premiers).

Il y a ensuite les nombres sociables. Il s'agit de la version à plusieurs amis des amiables. Pensons à un groupe de quatre nombres. La somme des diviseurs du premier donne le second nombre et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on revienne au premier nombre; la boucle est bouclée! Sans oublier les pseudoparfaits,

égaux à la somme de certains de leurs diviseurs. Puis les *near-perfect* (pour lesquels nous ne risquerons pas de traduction libre!) : égaux à la somme de tous leurs diviseurs, sauf 1. Paul Pollack a fait un Euclide de lui-même et tenté en 2012 de définir des règles pour en construire. Il existe aussi les triparfaits, les sublimes, les quasi-parfaits (différents des *near-perfect*)... Autant de variations autour d'un même thème.

Il faut continuer la recherche, déclare le professeur Pollack. « En aucun cas je ne prétends que ces nombres sont des problèmes centraux en mathématiques. Mais leur étude peut mener à des découvertes centrales. Pierre de Fermat, par exemple, est parvenu à ses découvertes en partie parce qu'il s'intéressait aux nombres parfaits. » De splendides catalyseurs! ●

## LA FORMULE D'EUCLIDE

**Si  $2^n - 1$**   
est premier, alors  
 **$2^{n-1}(2^n - 1)$**   
est un nombre parfait.

Note :  $n$  est forcément premier aussi.

## Les plus petits nombres parfaits et les moments de leur découverte

<b>6</b>	$2^1(2^2 - 1)$	Antiquité
<b>28</b>	$2^2(2^3 - 1)$	Antiquité
<b>496</b>	$2^4(2^5 - 1)$	Antiquité
<b>8 128</b>	$2^6(2^7 - 1)$	Antiquité
<b>33 550 336</b>	$2^{12}(2^{13} - 1)$	1456
<b>8 589 869 056</b>	$2^{16}(2^{17} - 1)$	1588
<b>137 438 691 328</b>	$2^{18}(2^{19} - 1)$	1588
<b>2 305 843 008 139 952 128</b>	$2^{30}(2^{31} - 1)$	1772

# LE HASARD FAIT BIEN LES NOMBRES

Générer des nombres au hasard n'est pas de tout repos. Les suites aléatoires sont pourtant essentielles en simulation, dans les essais cliniques et en sécurité informatique.

**PAR MÉLISSA GUILLEMETTE**

**P**our générer des nombres au hasard, on peut très bien jouer à pile ou face, lancer un dé ou encore tirer des boules, à la façon de Loto-Québec. Le mathématicien Pierre L'Ecuyer se rappelle avoir employé des tables, c'est-à-dire des livres contenant uniquement des nombres listés aléatoirement, pour réaliser des études statistiques à la fin des années 1960. « On choisissait dans notre tête deux chiffres pour déterminer quelle page et ensuite quelle ligne on allait utiliser! »

Ces diverses techniques sont évidemment bien trop longues à exécuter. « Elles ne répondent pas aux besoins d'aujourd'hui, dit le professeur de l'Université de Montréal. Pour vous donner une idée, les simulations de réactions nucléaires au CERN [l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire] requièrent plusieurs millions de nombres par seconde. Personne ne peut tirer des boules à cette vitesse! »

Les nombres aléatoires (ou les suites de bits, des 0 et des 1) sont pourtant essentiels pour désigner quels patients recevront le placebo dans un essai clinique, pour encoder de l'information ou pour perfectionner une chaîne de production dans une usine grâce à la simulation. Deux types de générateurs de nombres combinent cette demande : ceux basés sur des algorithmes et ceux fondés sur des phénomènes physiques.

Les premiers ne fournissent pas réellement de nombres au hasard. Et c'est exactement pour cette raison que certains les apprécient ! Imaginons une suite de 200 bits qui sert de point de départ. Un générateur algorithmique appliquera une

fonction sur cette suite. « C'est un bout de code qui va prendre les 200 bits et les brasser, les changer, inverser des 0 et des 1 à certains endroits, explique Pierre L'Ecuyer. À la fin, on obtient un nouveau bloc de 200 bits. Puis on applique une nouvelle fois la même fonction successivement pour obtenir la prochaine suite. » Ainsi, rien n'est plus prévisible que le prochain nombre généré ; c'est un système déterministe.

Cette façon de faire est utile en simulation, dont le but est souvent d'évaluer la performance de différentes politiques de gestion. « Si je simule un centre d'appels, les nombres aléatoires déterminent combien d'appels vont arriver, la durée des appels, etc. Si je veux pouvoir comparer deux façons de distribuer les appels parmi les agents, il faut que j'aie les mêmes nombres aléatoires. »

Mais les suites de nombres en elles-mêmes ont de belles qualités statistiques. Les bons algorithmes sont conçus de sorte qu'une même valeur revienne exactement le même nombre de fois qu'une autre. « On peut faire une analyse mathématique et le prouver avec des théorèmes », indique le professeur L'Ecuyer, qui fait partie des quelques rares chercheurs dans le monde qui perfectionnent les générateurs algorithmiques.

Il déplore le manque d'intérêt pour ce champ d'activité, alors que les propriétés des ordinateurs changent et que les utilisateurs gagneraient à travailler avec des générateurs appropriés. « Les gens qui construisent des logiciels très populaires prennent parfois des algorithmes dans de vieux livres ; ils ne connaissent pas ça et mettent n'importe quoi. » Il prend d'ailleurs un malin plaisir à demander à ses étudiants de tester la qualité d'un générateur qu'il sait médiocre !

## LE PHYSIQUE DE L'EMPLOI

Ce similihasard n'est pas optimal en cryptographie ou pour la loterie. Les phénomènes physiques peuvent alors nourrir des générateurs. Attention, la physique est généralement prévisible. « Si je connais les paramètres d'un système, il n'y a pas de hasard possible : on possède les équations pour savoir ce qui va se passer et il ne reste qu'à les résoudre », souligne le professeur de physique de l'Université de Sherbrooke Bertrand Reulet.

Il faut donc opter pour un système chaotique, c'est-à-dire un phénomène qui peut donner des résultats différents malgré des conditions initiales en tous points similaires.

Une simple lampe à lave peut faire le travail – vous vous souvenez, ces lampes décoratives qui forment des bulles de cire se détachant au fil du temps ? « Prédire à quel moment il va y avoir une bulle est très difficile ! » assure le

chercheur. Une entreprise de services de sécurité Internet, Cloudflare, a ainsi créé un mur de 100 lampes scrutées par une caméra pour obtenir des nombres destinés au cryptage. Sans blague ! Mais là encore, on peut finir par repérer des constantes (bien que ce soit plus difficile). « L'intelligence artificielle pourrait trouver ce qui va se passer. »

La physique quantique, celle qui régit l'infiniment petit, vient à la rescousse des chercheurs. Avec elle, tout est aléatoire ! C'est un peu par hasard (quoi d'autre !) que Bertrand Reulet a conçu une nouvelle technique, maintenant brevetée. « Mon sujet de recherche, ce sont les signaux quantiques. C'est de la physique fondamentale ; on ne cherche pas à construire quelque chose. On mesure les fluctuations aléatoires du courant électrique. » Il leur a néanmoins trouvé une utilité.

Le concept est tout simple : il utilise deux métaux séparés par un isolant très

fin (un mauvais contact, en somme). « Un électron, c'est une onde. Il n'est pas localisé en un point. Il est capable de "voir" que, de l'autre côté de l'isolant, il y a de la place pour lui. Il peut disparaître pour réapparaître de l'autre côté. C'est ce qu'on appelle l'effet tunnel. » Il est impossible de prédire combien d'électrons franchiront l'obstacle dans la prochaine seconde. Suivre l'intensité du courant électrique dans le temps est donc une façon de produire des bits et des nombres aléatoires. Avec une équipe de l'École de technologie supérieure de Montréal, le professeur Reulet travaille à la construction d'un prototype. Ce dispositif, qu'il souhaite commercialiser, tient sur une puce.

Voilà une solution qui pourrait améliorer la sécurité informatique. « Mais le premier problème, en cryptographie, ce ne sont pas les générateurs. Ce sont plutôt les administrateurs qui utilisent des mots de passe de type "1234" ! » rigole Bertrand Reulet. ●

## LES GÉNÉRATEURS RÉTRO

Ce n'est pas rien : les générateurs de nombres aléatoires existaient avant même l'écriture des nombres ! Des dés ayant plus de 5 000 ans ont ainsi été découverts en Irak et en Iran. Le hasard à deux possibilités servait également les Romains : cette bonne vieille pièce de monnaie qu'ils lançaient en l'air pour prendre une décision selon la face sur laquelle elle retombait. (Ils seraient probablement surpris d'apprendre qu'une pièce de monnaie n'a pas autant de chances de tomber d'un côté que de l'autre. La position à partir de laquelle elle est lancée favorise légèrement l'une ou l'autre face, avec 51 % des chances, comme l'a montré le mathématicien Persi Diaconis en 2007...)

Bien plus tard, il y a eu les « tables », comme celle du statisticien Leonard Henry Caleb Tippett en 1927, soit un document contenant 41 600 chiffres glanés dans un rapport de recensement. La première « machine » générant des nombres au hasard est apparue juste après, à la fin des années 1930 : elle était constituée d'un bout de carton qui effectuait des rotations grâce à un petit moteur électrique selon une revue historique réalisée par Pierre L'Ecuyer.

Quand les ordinateurs sont arrivés, il fallait se lever de bonne heure pour réussir à obtenir une séquence aléatoire. « En 1969, pour exécuter un programme sur le CDC 6400 [un ordinateur central] de l'Université de Montréal, il fallait porter notre paquet de cartes perforées à un endroit et l'on revenait quelques heures plus tard, ou le lendemain, pour recueillir le résultat du programme sur une pile de papiers », relate Pierre L'Ecuyer.

Aujourd'hui, ces nombres prisés sont à portée de la main : on peut installer un générateur sur un téléphone intelligent !



# NOMBRES FASCINANTS

Tous les nombres ne se valent pas. Que ce soit par leur place dans l'histoire et la culture, leurs propriétés arithmétiques ou leur esthétique, certains se démarquent du lot. Morceaux choisis.

PAR MARINE CORNIOU

# 1729

Ce nombre est au cœur d'une jolie anecdote, survenue juste après la Première Guerre mondiale. Le mathématicien britannique Godfrey Harold Hardy se rend en taxi dans un hôpital, près de Londres, visiter Srinivasa Ramanujan, un mathématicien de génie, autodidacte et originaire d'Inde. « Le climat anglais ne lui convenait pas et il souffrait de pneumonie », raconte Andrew Granville, un professeur de l'Université de Montréal d'origine britannique.

Au chevet du malade, le visiteur, qui cherchait un sujet de conversation, indique que son taxi était immatriculé **1729**, un nombre « sans intérêt ». Que nenni, lui répond Srinivasa Ramanujan. « C'est un entier très intéressant, le plus petit entier qui peut s'écrire comme la somme de deux cubes de deux façons. »

En effet,  $1729 = 1^3 + 12^3 = 9^3 + 10^3$ .

Aujourd'hui, 1729 est le représentant le plus connu de ces nombres particuliers, surnommés « taxicab », qui avaient déjà suscité l'intérêt du mathématicien Pierre de Fermat au 17<sup>e</sup> siècle. Ils sont notés  $Ta(1)$ ,  $Ta(2)$ ...  $Ta(n)$  et s'écrivent comme la somme de deux cubes positifs non nuls de  $n$  façons distinctes :

$$Ta(1) = 2 = 1^3 + 1^3$$

$$Ta(2) = 1729$$

$$Ta(3) = 87539319 = 1673^3 + 4363^3 \\ = 2283^3 + 4233^3 = 2553^3 + 4143^3$$

« On a un théorème qui dit qu'il en existe une infinité, mais ils sont difficiles à trouver », ajoute Andrew Granville. De fait, ils sont si épineux qu'on n'en connaît que six. Le dernier possède 23 chiffres et a été confirmé en 2008.



Les amateurs de science-fiction le savent : **42** occupe une place spéciale dans l'imaginaire *geek*. Il semble que tout soit parti d'une blague de l'auteur britannique Douglas Adam qui, dans son roman *Le guide du voyageur galactique*, mentionne que la réponse à la « question ultime de la vie, de l'Univers et de tout le reste est 42 ». Un nombre choisi au hasard, selon l'auteur. Sur la page Wikipédia de 42 (oui, il a sa page), toutes sortes

de propriétés plus ou moins étonnantes de ce nombre sont énumérées.

Mais en 2019, il a fait parler de lui pour une raison mathématique amusante, grâce au travail de deux chercheurs, l'un de l'Université de Bristol et l'autre du Massachusetts Institute of Technology. Ils se sont attaqués aux solutions de l'équation

$$42 = x^3 + y^3 + z^3$$

Cette équation dite « diophantienne » a occupé plusieurs informaticiens depuis les années 1950 pour tous les entiers entre 1 et 100. La solution est parfois facile ( $29 = 3^3 + 1^3 + 1^3$ ), parfois impossible, comme pour 32. Restaient deux fortes têtes : 33 et 42. Le premier a résisté pendant 65 ans, jusqu'à ce qu'Andrew Booker, de l'Université de Bristol, trouve la solution l'an dernier. Avec son collègue, il a, dans la foulée, résolu le mystère pour 42, après plus d'un million d'heures de calcul faisant appel à 500 000 ordinateurs personnels connectés (un projet appelé Charity Engine).

### Résultat ?

$$x = -80\ 538\ 738\ 812\ 075\ 974$$

$$y = 80\ 435\ 758\ 145\ 817\ 515$$

$$z = 12\ 602\ 123\ 297\ 335\ 631$$

# Nombres palindromes

Un palindrome est un mot, comme *radar*, qui peut se lire dans les deux sens. Les nombres palindromes existent aussi et il y en a une infinité. Ils donnent lieu à toutes sortes de jeux et d'énigmes. En 2017, des chercheurs ont prouvé que tout entier est la somme d'au plus trois nombres palindromes. Un exemple ?

$$2000 = 616 + 383 + 1001$$

## 6174

Connaissez-vous l'algorithme de Kaprekar ? Pour jouer à ce petit jeu, il faut prendre un nombre à quatre chiffres différents et réorganiser les chiffres pour obtenir le plus grand et le plus petit nombre possible. Prenons 2019 : on obtient 9210 et 0129. On soustrait le second du premier :  $9210 - 0129$ , et l'on répète l'opération avec le résultat obtenu.

---

$$9210 - 0129 = 9081$$

---

$$9810 - 0189 = 9621$$

---

$$9621 - 1269 = 8352$$

---

$$8532 - 2358 = 6174$$

---

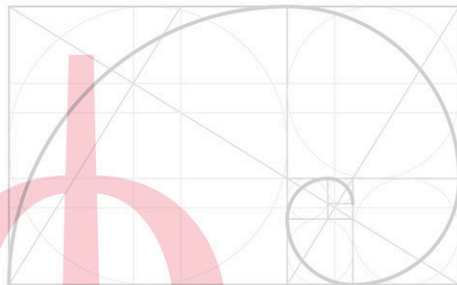
$$7641 - 1467 = 6174$$

---

Au bout d'un moment, le résultat est toujours le même : **6174**. Pour les nombres à trois chiffres, la constante de Kaprekar est 495. Cela s'explique, mais... pour cela, il nous aurait fallu disposer de quelques pages (et connaissances) supplémentaires!

## 10<sup>100</sup>

Ce nombre immense – 1 suivi de 100 zéros – est appelé « gogol » (*googol* en anglais). C'est le mathématicien américain Edward Kasner qui l'a introduit dans les années 1920, demandant à son fils de neuf ans de lui trouver un nom... Son choix a inspiré les fondateurs de Google bien plus tard. ●



# Phi

Le « nombre d'or », représenté par la lettre *phi* ( $\phi$ ), est LE nombre célèbre par excellence, auréolé d'une réputation quasi mythique qui agace les mathématiciens. Il désigne la solution positive du trinôme

$$x^2 - x = 1$$

$$\text{soit } (1 + \sqrt{5})/2$$

(ce qui vaut approximativement 1,618 033 988 7...).

Il est censé définir la « divine proportion », un rapport harmonieux entre deux côtés de rectangle, qu'on trouve dans les arts mais aussi dans la nature (ce nombre semble régir l'agencement des graines d'une fleur de tournesol, celui des pics d'ananas, de certaines spirales de coquillages, etc.). Il est surtout associé à la suite de Fibonacci, une suite numérique dans laquelle tout nombre (à partir du troisième) est égal à la somme des deux précédents :

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89...

Le rapport entre deux nombres consécutifs est alternativement supérieur et inférieur à  $\phi$ . Et plus on avance dans la suite, plus on s'approche de la valeur exacte du nombre d'or.

Êtes-vous de ceux qui aiment activer leurs neurones même au bord de la piscine? Si oui, cette sélection de jeux, d'équations et d'énigmes est pour vous. Bonne chance!

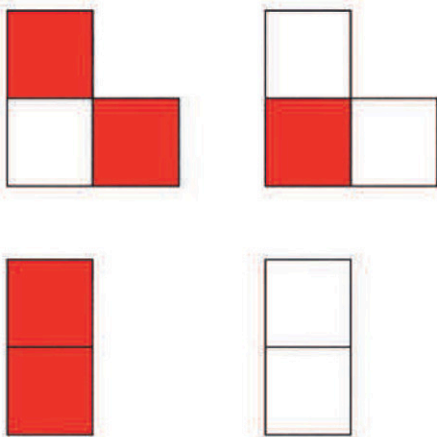
## POUR SE CASSER UN PEU LA TÊTE

### 1. Une foule de triangles

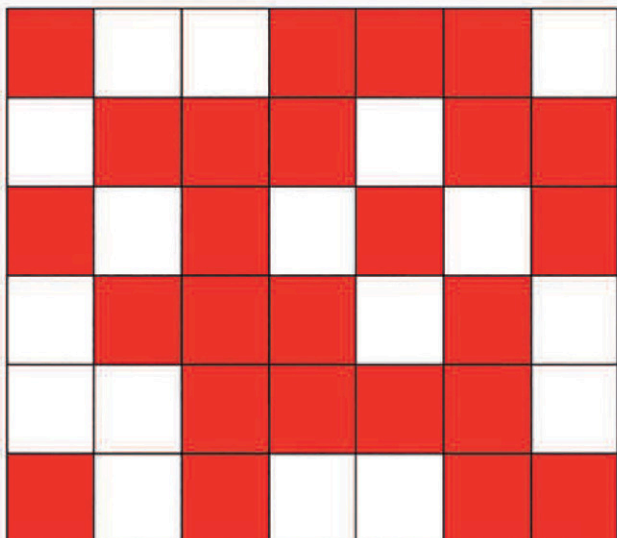
Avec 3 points, on peut faire un seul triangle. Avec 4 points, on peut tracer quatre triangles. Combien de triangles peut-on dessiner avec 5 points? 8 points? 100 points?

### 2. Carrelage alambiqué

Vous voulez refaire le mur de votre salle de bain en créant une mosaïque à l'aide des quatre pièces suivantes :



Montrez qu'il est **impossible** de produire la mosaïque ci-dessous.



### 3. Petit ou gros rabais?

En achetant votre nouvel électroménager, vous savez que s'appliqueront sur le prix affiché une réduction de 20 %, les taxes de 15 % et des écofrais de 5 %. La vendeuse, soucieuse de votre satisfaction, vous permet de choisir dans quel ordre seront appliqués ces frais et la réduction.



- Quel ordre choisirez-vous? Dans ce cas, allez-vous payer plus ou moins que le prix original?
- Vrai ou faux? Si un article est à 15 % de réduction et que les taxes sont de 15 %, vous paierez exactement le prix annoncé.

### 4. Friand de pizza!

Vous désirez vaincre votre dépendance à la pizza petit à petit. Aujourd'hui, vous mangerez une pizza, puis, les prochains jours, vous mangerez toujours la moitié moins de pizza que la veille. Bien entendu, ce régime ne vous permettra jamais d'arrêter complètement de manger de la pizza, puisque vous continuerez d'en manger à l'infini, si tant est qu'on puisse couper des miettes à l'infini! De combien de pizzas au total aurez-vous besoin?



## POUR FAIRE DURER LE PLAISIR...



### 5. Sur les traces d'Ératosthène

À la manière du grand mathématicien grec, éliminez successivement tous les multiples de 2, de 3 – à l'exception de 2 et 3 eux-mêmes – et ainsi de suite pour trouver tous les nombres premiers inférieurs à 100 (indice : il y en a 25).

**BONUS :** Expliquez pourquoi il suffit de faire l'opération par bonds de 2, 3, 5 et 7 pour désigner tous les nombres premiers inférieurs à 100.

### 6. À go, additionnez !

Il est agréable d'additionner les premiers nombres naturels.

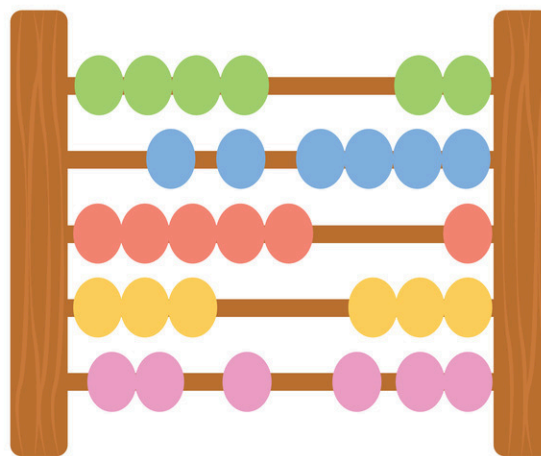
$$1 + 2 = 3; 1 + 2 + 3 = 6; 1 + 2 + 3 + 4 = 10$$

- Quelle est la somme des 100 premiers nombres naturels (sans utiliser la calculatrice...)?
- Quelle est la somme des 50 premiers nombres impairs? Est-ce plus petit ou plus grand que  $50 \times 50$ ?
- Quand on additionne les premiers nombres impairs ensemble, on trouve toujours un carré parfait (un nombre entier multiplié par lui-même). Ainsi :

$$1 + 3 = 4 = 2 \times 2$$

$$1 + 3 + 5 = 9 = 3 \times 3$$

Montrez par des dessins pourquoi cela est le cas.



### 7. À la ferme

Dans un champ, il y a 10 fois moins de vaches que de chèvres. On compte une vache brune pour chaque couple de vaches blanches, mais on compte une chèvre brune pour cinq chèvres blanches.

- Dans quel ratio est répartie la couleur chez tous les animaux du champ?
- Montrez qu'il y a un nombre pair d'animaux bruns.



### 8. Fin de session

Une professeure de mathématiques a calculé que la moyenne de son groupe à l'examen était de 70 %. En remettant les copies aux étudiants, elle se rend compte qu'une copie n'est pas corrigée.

- Si son groupe compte 30 personnes et que la copie omise est parfaite (100 %), quelle aurait dû être la moyenne du groupe?
- Si la copie omise (dont nous ignorons la note) augmente la moyenne de 15 points, quelle est la taille du groupe? On suppose que la moyenne sans la copie manquante est toujours de 70 %.
- Cette même enseignante a deux autres groupes comptant 25 et 30 étudiants, dont les moyennes sont respectivement de 75 % et 80 %. Quelle est la moyenne des 55 étudiants de ces deux groupes?

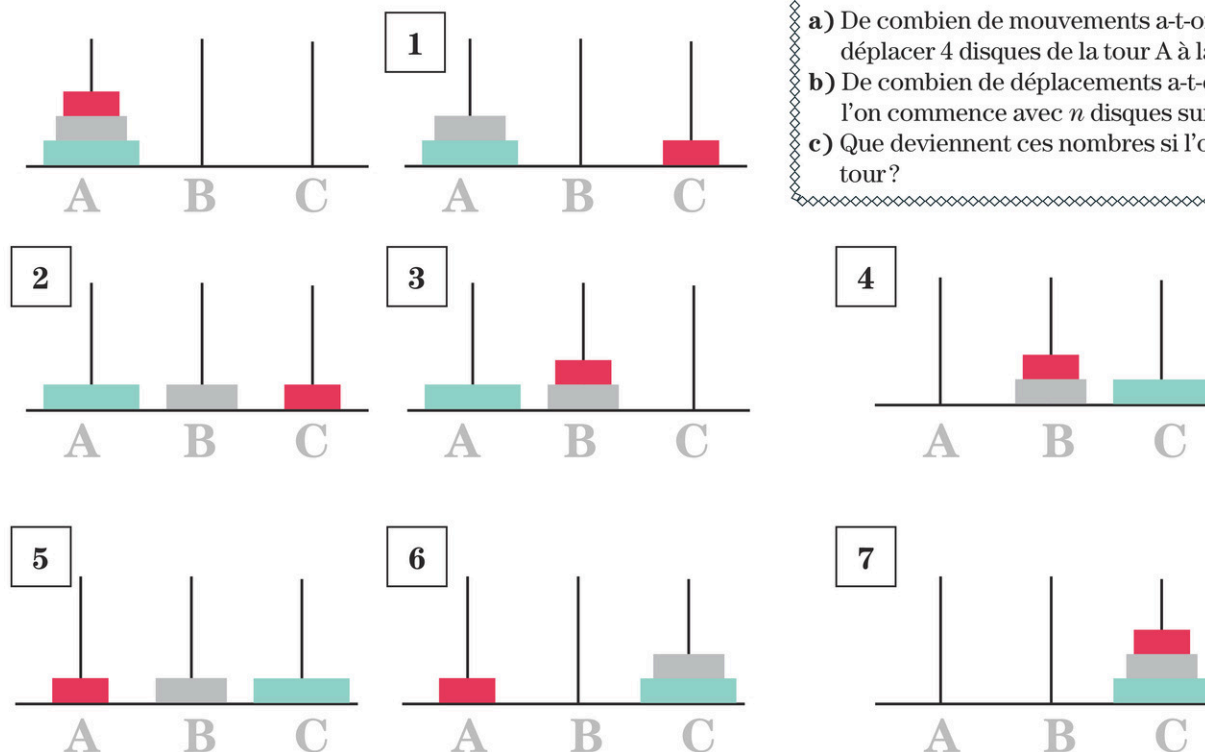
## VOUS EN VOULEZ PLUS?

### 9. Les vases

Vous avez devant vous deux vases irréguliers et non gradués : le premier peut contenir 3 litres et le second 5. Expliquez comment vous pouvez vous en servir pour obtenir exactement 1 litre de liquide.

### 10. Les tours de Hanoï

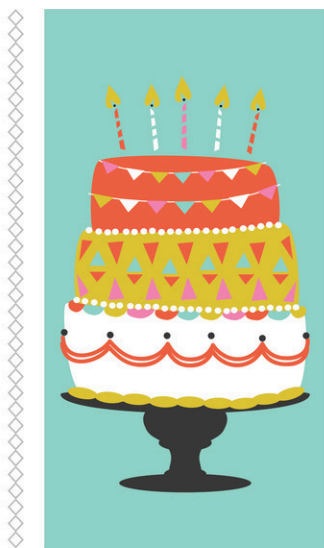
Voici un joli jeu formé de trois tiges et de disques de différentes grandeurs. Pour gagner, il suffit de déplacer les disques de la tour A à la tour C. Mais attention : on peut déplacer seulement un disque à la fois et un disque ne peut jamais être déposé sur un disque plus petit. Voici, par exemple, comme déplacer trois disques.



- a) De combien de mouvements a-t-on besoin pour déplacer 4 disques de la tour A à la tour C ?
- b) De combien de déplacements a-t-on besoin si l'on commence avec  $n$  disques sur la tour A ?
- c) Que deviennent ces nombres si l'on ajoute une tour ?

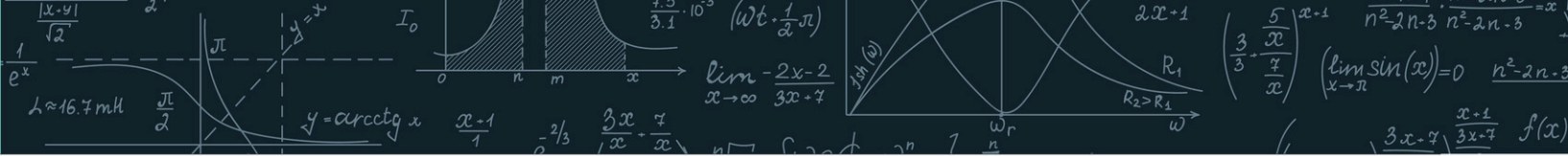
### 11. Touché coulé

Le jeu *Bataille navale* consiste à trouver les positions de l'ennemi sur un échiquier de 10 cases sur 10 cases en essayant à chaque tour une nouvelle case. En étant très malchanceux, on aurait besoin de 100 tours pour gagner. Remplaçons cette grille par une grille infinie dont le centre est la case (0,0). Toutes les autres cases sont désignées par leurs coordonnées (ligne, colonne) en nombres entiers positifs et négatifs. Supposons que vous cherchez un unique bateau ennemi. En étant malchanceux, vous aurez besoin d'un temps infini pour le trouver. Mettez au point une technique de recherche qui vous assure de trouver le bateau ennemi sans avoir besoin d'une infinité d'essais.



### 12. Le paradoxe des anniversaires

Pour simplifier le problème, nous supposons qu'une année compte toujours 365 jours. Il arrive que, dans un groupe, au moins 2 personnes aient la même date d'anniversaire. Dans un groupe de 366 personnes, il est certain qu'au moins 2 partagent leur date de naissance. Dans un groupe de 400 personnes, il est presque certain que cela se produit. Or, dans un groupe de 2 personnes, il n'y a qu'une faible chance que leurs dates d'anniversaire soient identiques (1 chance sur 365 en fait). Complétez la phrase en utilisant le plus petit nombre qui la rend vraie. Dans un groupe de \_\_\_ personnes, il y a plus de 50 % de chances que 2 d'entre elles aient la même date d'anniversaire.



# POUR LES MORDUS



## 13. Le nombre d'or

Curieusement, le nombre d'or  $\phi \approx 1,618$  a le même développement décimal que  $1/\phi \approx 0,618$  (c'est-à-dire la même succession de chiffres après la virgule).

- a) À part 1 et -1, trouvez un autre nombre avec la même propriété.
- b) Trouvez une infinité de nombres possédant cette propriété et montrez que les nombres que vous avez trouvés sont différents.



## 14. Quelle forme étrange !

Pour la construire, nous commençons par un cercle noir d'aire égale à un mètre carré. Nous plaçons ensuite dans chaque cercle un cercle plus petit compris entre le bord et le centre du précédent en alternant entre blanc et noir. L'opération est reproduite une infinité de fois. Les premières étapes sont reproduites ci-contre, mais la forme finale aura un niveau de détail infini qu'il n'est pas possible de dessiner.

Quelle est l'aire de la partie ombragée ?

## 15. Désolé, mauvais numéro...

Qui ne s'est jamais trompé d'un chiffre en appelant quelque part ? On veut joindre le 555-1849, mais on compose le 555-1749. S'ensuit une discussion malaisante... Pour éviter cela, imaginons une nouvelle loi qui obligerait tous les numéros de téléphone à avoir aux moins deux chiffres différents. Ainsi, en attribuant le 555-1849, il devient impossible de donner les numéros de la forme X55-1849, 55X-1849, 555-X849, 555-1X49, 555-18X9 et 555-184X.

- a) Simon dit qu'il a fait des calculs et qu'on devra, sous cette nouvelle loi, attribuer 64 fois moins de numéros (les numéros ont 7 chiffres). Retracer sa réflexion et expliquez pourquoi elle est fautive.
- b) Montrez à Simon comment il est possible de respecter la loi en n'attribuant que 10 fois moins de numéros.



## 16. Que les meilleurs gagnent

Dans un kiosque de fête foraine, 10 jeunes sont placés en file et regardent droit devant eux. Dans une heure, on placera sur leur tête un chapeau bleu ou rouge. Aucun ne verra la couleur de son propre chapeau ni celle des chapeaux des participants derrière lui. Mais tous verront très bien tous les chapeaux devant. En partant de la dernière personne de la file, on leur demandera de deviner la couleur de leur chapeau. Les jeunes qui devineront correctement la couleur gagneront la coquette somme de 100 \$. Avant de commencer le jeu, on permet aux participants de se parler librement, mais dès que les chapeaux seront en place, ils ne pourront s'exprimer qu'à tour de rôle et devront se limiter à deviner la couleur de leur chapeau. Quelle stratégie permet toujours à au moins 9 jeunes de remporter la cagnotte ?

**POUR CONNAÎTRE LES SOLUTIONS**  
[www.quebecscience.qc.ca/jeux-solutions](http://www.quebecscience.qc.ca/jeux-solutions)



**LE LAIT BIO,  
FIER  
DE SA  
NATURE**



Récoltez votre basilic, mais surtout, récoltez les compliments avec cette recette qui goûte fraîchement l'été.

# Ricotta bio maison, brunoise fraises et basilic

**Préparation** 25 minutes  
**Réfrigération** 2 heures  
**Cuisson** 15 minutes  
**Portions** 4

## INGRÉDIENTS

### Ricotta bio maison

- 2 tasses** de lait bio 3,8%
- 1 tasse** de crème à fouetter bio 35%
- 1 c. à thé** de sel
- 2 c. à soupe** de vinaigre blanc

### Brunoise fraises et basilic

- 1 tasse** de fraises, en dés
- 2 c. à thé** de sirop d'érable
- 1 c. à thé** de basilic frais, finement haché  
ou de petites feuilles de basilic frais

### Verrines de ricotta

- 1 tasse** de ricotta bio maison
- 1/4 tasse** de sirop d'érable ou de miel
- 2 c. à soupe** de jus d'orange, fraîchement pressé
- 1 c. à soupe** de zeste d'orange
- 1 tasse** de brunoise fraises et basilic
- 1/2 tasse** de copeaux de noix de coco, de biscuits  
au beurre ou Graham, en morceaux

## PRÉPARATION

### Ricotta bio maison

1. Tapiser un tamis d'au moins trois couches de coton à fromage. Placer le tamis sur un grand bol profond. Réserver.
2. Dans une casserole, à feu moyen, porter à ébullition le lait, la crème et le sel. Remuer de temps en temps pour éviter que le mélange ne colle au fond de la casserole.
3. Éteindre le feu et ajouter le vinaigre. Remuer. Laisser reposer pendant environ 10 minutes, ou jusqu'à ce que le mélange caille.
4. Verser le mélange sur le tamis réservé. Laisser égoutter au réfrigérateur pendant 2 heures, pour en retirer le maximum d'humidité.
5. Transférer la ricotta maison dans un contenant hermétique. Jeter le petit lait. La ricotta se conserve au réfrigérateur pendant 4 à 5 jours.

### Brunoise fraises et basilic

6. Dans un bol, mélanger tous les ingrédients de la brunoise.

### Verrines de ricotta

7. Mélanger 1 tasse de ricotta bio maison, le sirop d'érable ou le miel, le jus d'orange, et le zeste d'orange.
8. Transférer dans 4 petits pots. Garnir de brunoise de fraises et basilic et de copeaux de noix de coco ou de biscuits au beurre ou Graham en morceaux.



# ET SI L'ENNUI était bénéfique ?

L'humain a horreur de l'ennui. Or, ce sentiment de vide et d'insatisfaction nous a drôlement rattrapés ces derniers temps. Peut-être n'est-ce pas une si mauvaise chose, nous disent les chercheurs.

**PAR PAULE DES RIVIÈRES**



Avec le Grand Confinement, nos activités sociales ont disparu. Envolées, nos distractions favorites. Nous manquons cruellement de temps et voilà que l'ennui s'est installé à demeure. Et cela n'est pas pour nous plaire. Nous abhorrons l'ennui, si bien que nous aimons encore mieux recevoir de légers chocs électriques que de rester immobiles, sans tâche précise, comme le montrent une série d'expériences menées en 2014 par des chercheurs américains. C'est dire. Pourtant, l'ennui est un sentiment fort complexe, riche d'enseignement et qui peut être même constructif.

De grands penseurs des 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècles ne se sont-ils pas échinés à cerner sa mystérieuse dualité? Schopenhauer, Kierkegaard, Heidegger et Sartre l'ont habilement décortiquée, l'associant à un incontournable mal de vivre. Nietzsche déplorait, lui, que « presque tous les habitants des pays civilisés préfèrent encore travailler sans plaisir plutôt que de s'ennuyer ».

L'ennui a attiré l'attention des historiens, surtout après la Deuxième Guerre mondiale. Leur perspective a permis de

mieux saisir toute la charge politique derrière l'ennui. Sinon, pourquoi les autorités politiques et religieuses se seraient-elles inquiétées de l'usage que feraient les travailleurs de leur temps libre dans la foulée de la réduction des heures de travail? Et si le peuple s'adonnait au vice? Et s'il avait le temps d'imaginer un monde meilleur, plus juste, avec de meilleurs salaires?

Depuis les années 1980, c'est au tour des psychologues et des neuropsychologues d'apprivoiser l'ennui, qu'ils avaient jusque-là jugé trop fuyant, trop discret, trop... existentiel. Ils rattrapent d'ailleurs le temps perdu à la vitesse grand V. Le nombre d'études sur le sujet a fait un bond significatif, passant de 11 par année en 1980 à 95 pour l'année 2019 dans la seule banque de données PubMed. Leurs découvertes sont étonnantes, comme le montre cette expérience au cours de laquelle des participants, laissés à eux-mêmes pendant 15 minutes dans un laboratoire vide, ont choisi de s'autoadministrer de petites décharges électriques plutôt que de s'abandonner à l'ennui. Publiés dans *Science*, les résultats avaient étonné les chercheurs, convaincus que les possibilités

ILLUSTRATION : FRANÇOIS BERGER  
DIRECTION ARTISTIQUE :  
NATACHA VINCENT



de notre cerveau pouvaient suffire à nous distraire. Hélas non, constatent leurs collègues neuropsychologues. «Les zones qui sont actives lorsque nous nous adonnons à une tâche intéressante ont tendance à se refermer lorsque nous nous ennuyons. Nous commençons à percer les mystères de l'ennui, mais il y a encore tant à découvrir», souligne James Danckert, neuropsychologue à l'Université de Waterloo. Il cherche à faire le lien avec d'autres émotions qui accompagnent, entravent ou aggravent cet état. Certaines observations intriguent : ainsi, l'ennui peut provoquer une accélération du rythme cardiaque et une hausse de la température de la peau. La frustration liée à l'ennui expliquerait en partie ces symptômes.

Pour mesurer l'ennui, plusieurs chercheurs recourent à la Boredom Proneness Scale, adaptée en France sous le vocable d'Échelle de disposition à l'ennui. Conçu en 1986 par deux chercheurs américains, le document de 28 affirmations visant à jauger la susceptibilité des participants à l'ennui reste une référence. Exemples : «La plupart des choses que je fais me procurent un certain plaisir» ou «La plupart du temps, j'ai l'impression de travailler en dessous de mes capacités». L'outil permet de départager les individus qui s'ennuient de façon chronique de ceux qui s'embêtent de temps en temps.

Mais comment définir cet inconfort ? Le psychologue clinicien John D. Eastwood et ses collègues du Boredom Lab, à l'Université York, établissent les caractéristiques suivantes : une difficulté à se concentrer ; un mécanisme de stimulation dérégulé ; le sentiment que sa vie manque de sens et qu'on n'a pas de maîtrise sur elle ; et une relation particulière au temps (les minutes se traînent).

L'ennui serait-il donc un mélange de plusieurs émotions ? Dans une étude publiée

en 2016, des chercheurs britanniques ont demandé à des centaines de participants de mettre en relation l'ennui et d'autres émotions dites négatives, soit l'état dépressif, l'anxiété, la frustration, la colère, le dégoût, la culpabilité, la honte, la déception et le regret. Il s'agissait de savoir si telle ou telle émotion provoquait une réaction intense, un désir d'agir, un état d'éveil, un sentiment d'inutilité, etc. «Bien qu'il soit associé à la colère, la frustration, la tristesse et un sentiment de dépression, l'ennui occupe bel et bien une place à part dans la sphère des émotions négatives. L'élément existentiel – sentiment de vide – est beaucoup plus persistant dans l'ennui que dans les autres émotions qualifiées de négatives», mentionne l'un des auteurs, Wijnand Van Tilburg, rattaché à l'École de psychologie du King's College et à l'Université de l'Essex, à Londres.

### MOTEUR DE CHANGEMENT

Ce sentiment de vide nous pousse à l'action. James Danckert l'a expérimenté : pendant le confinement, et même s'il poursuivait ses activités universitaires, l'ennui l'a fréquemment rattrapé et conduit, entre autres, à mettre ses talents culinaires à l'épreuve. Le gâteau au café qu'il a confectionné ne marquera pas la mémoire de ses enfants, mais, dit-il, l'activité lui a redonné le sentiment qu'il avait un peu de contrôle sur sa vie !

Ainsi, l'ennui nous envoie un signal, de la même manière que la douleur nous enjoindra de retirer illico notre main d'un rond de cuisinière chaud, explique John D. Eastwood. «L'esprit qui s'ennuie n'est pas sollicité ; il n'est engagé dans aucune tâche ou activité et il s'en trouve profondément insatisfait», résume celui qui a coécrit avec

James Danckert un ouvrage grand public sur le sujet paru début juin, *Out of My Skull: The Psychology of Boredom*. L'ennui traduit un désir emprisonné. Nous désirons quelque chose, mais nous ne savons pas quoi au juste. Tolstoï ne disait-il pas que l'ennui est le désir de désirer ?

L'idée que l'ennui puisse déclencher le changement fut proposée en 1993 par les chercheurs en psychologie W. L. Mikulas et Stephen Vodanovich. «Nous avons aussi observé que les gens qui s'ennuient sont à la recherche de solutions qui donneraient un sens à leur vie, indique Wijnand Van Tilburg au cours d'un entretien téléphonique. L'ennui peut conduire à la rêverie, puis aux réminiscences nostalgiques qui, à leur tour, mènent à vouloir renforcer des liens d'attachement avec des proches ou des communautés d'intérêts.» Pensons aux écrivains romantiques du début du 19<sup>e</sup> siècle, dont la sensibilité créative était alimentée par la rêverie mélancolique. Les héros romantiques de Stendhal ou de Chateaubriand avaient une manière bien à eux de cultiver l'ennui. Tout leur était indifférent, sauf l'être aimé, de préférence inaccessible, dont ils s'ennuyaient avec délectation.

À ce chapitre, les philosophes tirent les mêmes constats de l'ennui. «Lorsque vous vous ennuyez, vous cherchez à faire autre chose ; vous ne savez pas quoi exactement, mais le pouvoir de motivation de l'ennui est très fort», note Andreas Elpidorou, professeur adjoint au Département de philosophie de l'Université de Louisville, au Kentucky, qui a publié l'article «The Good of Boredom» en 2017 dans la revue *Philosophical Psychology*. L'ennui peut ainsi nous amener vers de nouveaux horizons,

## PARMI LES PARTICIPANTS À UNE ÉTUDE AMÉRICAINE,

# 63%

ONT DIT AVOIR ÉPROUVÉ DE L'ENNUI AU MOINS UNE FOIS DANS LES 10 JOURS AU COURS DESQUELS ILS ONT ÉTÉ SONDES (2016).

ajoute-t-il. L'écrivain Dany Laferrière ne dit pas autre chose lorsqu'il attribue à l'ennui sa bienheureuse découverte de la littérature.

Pour Mark Kingwell, professeur au Département de philosophie de l'Université de Toronto, une certaine tolérance à l'ennui est indispensable pour s'interroger sur les « objectifs motivants dont on a tous besoin dans la vie ».

« Malheureusement, nous nous distrayons frénétiquement sur Facebook, Instagram, Twitter et autres applications afin de déjouer, sans succès, un ennui sans cesse renouvelé. La peur de l'ennui conduit à la dépendance à l'égard des applications qui éveillent des désirs de consommation sans fin et, donc, des insatisfactions toujours plus grandes », déplore-t-il, faisant écho à son ouvrage paru l'an dernier, *Wish I Were Here: Boredom and the Interface*.

Le philosophe Bertrand Russell, en 1930, observait pour sa part que « nous nous ennuyons moins que nos ancêtres, mais nous craignons plus l'ennui ». Faisant une distinction entre l'ennui fécond et l'ennui abrutissant, l'auteur concluait « qu'une génération incapable de supporter l'ennui sera une génération d'hommes médiocres, d'hommes qui ont rompu à tort avec le lent processus de la nature, d'hommes dont toutes les impulsions vitales se fanent lentement comme s'ils étaient des fleurs coupées dans un vase ».

## LES PIÈGES DE L'ENNUI

En revanche, si l'ennui persiste, il peut entraîner des comportements à risque. Les travailleurs qui s'ennuient courent plus de risques de se blesser ou de commettre des erreurs, en accordant moins d'attention à leurs tâches. De nombreuses recherches ont démontré que l'ennui chronique peut mener à l'abus de drogue ou d'alcool ou encore au jeu compulsif. En clair, il joue un rôle non négligeable dans les comportements qui dénotent une accoutumance et serait une cause de rechute chez les toxicomanes, qui éprouvent la plus grande des difficultés à remplacer l'objet de leur dépendance par quelque chose d'agréable, au-delà du sevrage.

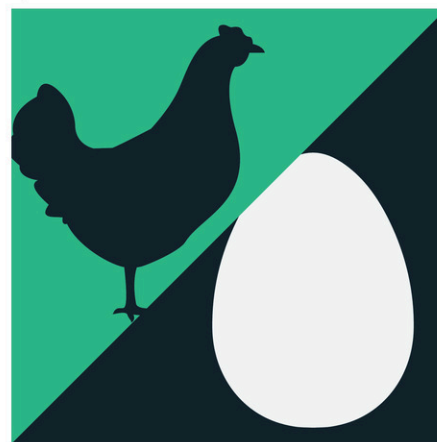
À l'Institut universitaire en santé mentale Douglas, de l'Université McGill, Thomas Brown dirige une équipe qui étudie le comportement des récidivistes de l'alcool au volant. « La réponse au stress de ces conducteurs est plus basse que celle d'un groupe témoin. Ils sont à la recherche d'expériences fortes et tentent de combattre l'ennui chronique », signale le professeur associé du Département de psychiatrie. Son équipe a prélevé des échantillons de cortisol salivaire chez les sujets au repos, puis à la suite d'activités dites stressantes, comme répondre à des énigmes mathématiques afin de remporter des prix. Le taux de cortisol des conducteurs à risque est resté bas, contrairement à celui du groupe témoin. Les résultats de l'étude ont été publiés dans *PLOS ONE* en 2016. « D'autres expériences en neuro-imagerie fonctionnelle ont permis de voir que les conducteurs à risque essaient d'activer leur système de dopamine afin d'augmenter l'intensité de leur stimulation », dit-il.

L'ennui peut donc mener à la délinquance. D'ailleurs, en temps de confinement imposé pour des raisons sanitaires, ceux qui ne respectent pas les consignes invoquent l'ennui. C'est ce que révèlent plusieurs recherches effectuées au Canada et aux États-Unis dans la foulée de l'épidémie du syndrome respiratoire aigu sévère en 2003. Des chercheurs avaient alors examiné l'adhésion à la quarantaine imposée à quelque 15 000 personnes dans la grande région de Toronto. Aujourd'hui, des chercheurs de partout sur la planète ont commencé à scruter nos comportements pendant cet exceptionnel printemps 2020. Ils accumulent des données sur les conséquences de l'ennui qui nous a étreints et nous a restreints.

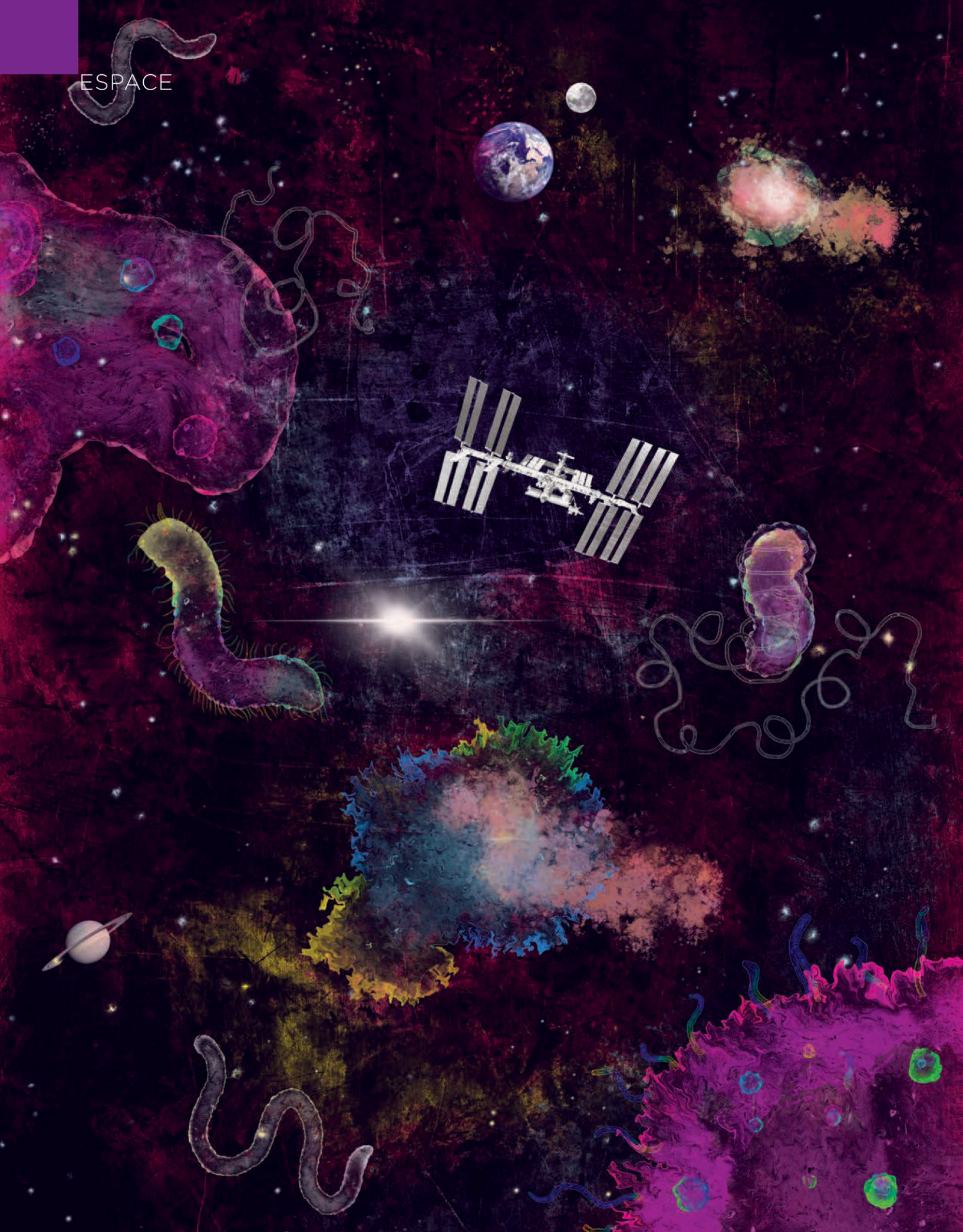
Mais le confinement a été inégal. Si certains se sont bien ennuyés, d'autres ont traversé une période étourdissante. Demandez aux travailleurs de la santé et aux parents effectuant du télétravail avec des enfants à la maison. Parions que, pour ces derniers, l'ennui, lorsqu'il viendra, sera un luxe à savourer. ●

## L'ŒUF OU LA POULE ?

Dans une étude publiée en 2012, John D. Eastwood a relaté une expérience où l'on a démontré que les personnes qui accomplissent une tâche moyennement intéressante, mais qui sont distraites par le bruit d'un téléviseur dans la pièce voisine étaient plus vulnérables à l'ennui que celles qui pouvaient mieux se concentrer sur leur tâche. Pour le neuropsychologue de l'Université York, cette expérience, associée à d'autres plus récentes, permet d'associer l'ennui au déficit d'attention. « Les personnes aux prises avec un trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité sont plus sensibles à l'ennui, car elles éprouvent de la difficulté à se centrer sur une tâche. » Ou alors, est-ce l'inverse : la propension à l'ennui mènerait-elle à un déficit d'attention ? « Il nous est difficile de dire laquelle de ces caractéristiques vient en premier. »



ESPACE



---

# MILLE MILLIARDS D'AMIES dans la SSI

---

On demande souvent aux astronautes de la Station spatiale internationale ce qu'ils mangent ou comment ils font pour dormir. La bonne question serait plutôt : qu'est-ce que ça sent ?

**PAR MÉLISSA GUILLETTE**  
ILLUSTRATION : DUSHAN MILIC

---

# Le

résultat était si improbable que c'en était déconcertant. « Mais comment veux-tu que je justifie la présence de cailles dans l'espace ? » a demandé le biologiste Nicholas Brereton à son collègue Emmanuel Gonzalez, spécialiste en métagénomique. Ensemble, ils s'intéressent aux communautés microbiennes, dont celles qui grouillent dans la Station spatiale internationale (SSI). Et ce qu'ils ont trouvé à l'automne 2018 laissait croire que de petits volatiles au plumage brun avaient déjà élu domicile dans la Station, qui orbite autour de la Terre.

Tout a commencé par une nouvelle technique appelée ANCHOR, mise au point par Emmanuel Gonzalez, rattaché à l'Université McGill, et des chercheurs de l'Institut de recherche en biologie végétale de l'Université de Montréal, dont Nicholas Brereton. La méthode offre une précision inégalée pour analyser d'énormes quan-

tités de données génomiques dans le but d'identifier les espèces de microorganismes présents dans un échantillon. Elle permet de réduire un phénomène que connaissent bien les spécialistes en métagénomique : ils naviguent dans leur discipline tels des écologistes myopes, « comme si, en se promenant dans une forêt, on pouvait seulement dire "J'ai vu quelque chose de marron... je crois". On a un problème de résolution », illustre Emmanuel Gonzalez.

ANCHOR augmente cette résolution sans faire d'amalgame entre des séquences génétiques similaires, ce qui avait pour effet de modifier les données et de dissimuler la véritable diversité des espèces bactériennes. Pour tester cette approche, les chercheurs se sont naturellement tournés vers ce qui les fait rêver : l'espace. Sur le site de la NASA, ils ont eu accès à un jeu de données correspondant au matériel génétique trouvé sur les murs, les claviers et les rampes de deux modules de la SSI. Ces prélèvements avaient déjà été analysés grâce à une méthode éprouvée nommée QIIME dans une étude publiée en 2017.

Après environ deux jours de calculs réalisés sur des serveurs de Calcul Québec, l'équipe est parvenue à des résultats différents de cette précédente étude ; de nouvelles espèces ont émergé et certaines se sont révélées vraiment plus abondantes. Les chercheurs pouvaient également voir les traces de multiples plantes et animaux passés par la Station, détectés indirectement, car les mitochondries et chloroplastes de leurs cellules descendent de bactéries. C'est alors que l'empreinte des cailles est apparue. L'étonnement dubitatif n'a pas duré. « Quelques heures après, Nicholas me rappelait pour me dire que les astronautes ont vraiment apporté des cailles dans l'espace ! » relate Emmanuel Gonzalez en nous montrant une vidéo mettant en vedette un petit oiseau tournoyant en apesanteur. Ce modèle animal est utilisé pour des expériences dans l'espace au moins depuis 1979 et son développement embryonnaire a notamment été étudié dans la SSI.

L'équipe a découvert que le module Harmony, où dorment des astronautes,

s'apparente à un gros système digestif humain! Le module Destiny, où sont situés les laboratoires américains, compte toutefois une bien plus grande variété de microorganismes. «On ne s'attendait pas à autant de diversité... Les occupants font tellement attention; ils lavent tout, tout le temps, et tout ce qui est envoyé vers la Station est désinfecté pour enlever toute trace de vie.» Le tout a été publié dans *Environmental Biology* en 2019.

La SSI a été lancée en 1998. Depuis, les agences spatiales ne badinent pas avec les mesures de précaution, car personne ne veut qu'un pathogène infecte les équipages – et ce sera encore plus nécessaire pour les longues missions vers Mars ou un astéroïde. Imaginez une gastroentérite spatiale... Eh bien, c'est déjà arrivé! À l'occasion de la mission *Apollo 8*, en 1968, tout l'équipage a souffert d'une gastro (virale) avant le départ et un astronaute a vomi en vol et a eu des maux de ventre. Une infection urinaire a également été notée pendant *Apollo 13*.

Les agences spatiales ont beau mettre les astronautes en quarantaine deux

semaines avant le départ, ils traînent avec eux des milliards de bactéries, tout comme les animaux et les plantes qui font partie des expériences scientifiques dans l'espace et parfois même le matériel. Évidemment, aucune fenêtre n'a pu être ouverte pour aérer la Station en 22 ans! Aucune douche n'a été prise! De plus, les produits utilisés pour nettoyer les surfaces et les instruments ne peuvent pas être trop forts, car ils pollueraient l'air. Il y a bien un aspirateur, un système de purification de l'air ultrasophistiqué, des tâches de désinfection des équipements et le nettoyage régulier de la toilette et de la cuisine. Mais ça reste un milieu de vie riche. «Je ne peux pas croire que les astronautes ne le sentent pas...», lâche Emmanuel Gonzalez.

En entrevue avec le magazine *Wired* en 2017, l'astronaute américain Scott Kelly disait avoir eu des rappels de la SSI en visitant une prison qui embaumait «l'antiseptique, la poubelle et les odeurs corporelles». Charmant!

Nous avons donc posé la question à David Saint-Jacques, le dernier Canadien

ayant vécu dans la Station spatiale internationale : qu'est-ce que ça sent à bord? Pas grand-chose, nous a-t-il répondu... «En condition d'apesanteur, notre sens de l'odorat est réduit en raison de la congestion nasale causée par la migration du sang vers la tête. Un peu comme quand on a le rhume, on sent moins bien les odeurs.» Tant mieux!

## AMIES OU ENNEMIES

Cette faune n'est pas forcément malvenue. Elle est au contraire indispensable. Les scientifiques l'ont maintes fois montré : l'humain, tout comme les animaux et les plantes, a besoin des bactéries. «Les animaux de laboratoire sans flore bactérienne et élevés dans un milieu aseptisé ne se portent pas très bien», rappelle Nicole Buckley, de l'Agence spatiale canadienne.

Contrairement à ses collègues, la chef scientifique des sciences de la vie ne décore pas son bureau uniquement de fusées et de photos d'astres, mais également de toutous en forme de microbes. Pas surprenant, donc, qu'elle ait trouvé très intéressants les travaux des chercheurs québécois.

## LE FEU SAUVAGE DE L'ESPACE

Les virus aussi sont dans la mire des agences spatiales. Parmi eux figurent les huit virus de la famille des *Herpesviridae* (dont ceux de la varicelle et du feu sauvage), que de 70 à 95 % de la population a déjà contractés et qui demeurent en latence dans le corps. Des experts de la NASA ont analysé la salive et l'urine de 112 astronautes ayant participé à de courtes ou de longues missions. Ils ont trouvé des virus réactivés chez plus de la moitié d'entre eux et la charge virale augmente avec la durée du séjour, révèle leur article publié dans *Frontiers in Microbiology*. La production accrue d'hormones de stress réduit l'immunité cellulaire : les cellules qui éliminent habituellement les virus sont moins efficaces. Les pathogènes en profitent. Le rayonnement cosmique, la faible gravité, l'accélération incroyable au décollage font partie des stressseurs auxquels le corps d'un astronaute est soumis, en plus de l'isolement et de la perturbation des cycles de sommeil naturels, selon les auteurs. Seuls six astronautes ont toutefois présenté des symptômes mineurs, dont une lésion attribuable à l'herpès buccal.



« On parle toujours du microbiome de notre bouche ou de notre intestin. Mais il y a un microbiome dans la pièce où l'on se trouve! Comment influe-t-il sur notre santé? Si l'effet était négatif, on serait malade et on le saurait. Mais prouver son influence positive est plus difficile. » D'où l'intérêt de bien caractériser les espèces présentes dans la SSI.

Et de vérifier si elles sont toujours actives. « C'est comme des fouilles archéologiques. On voit l'ADN, mais on ne sait pas s'il se rattache à un organisme mort ou vivant », précise Nicole Buckley.

Elle ne s'en fait pas trop pour les astronautes, qui ont une santé de fer, dit-elle. « Ce ne sont pas des individus comme vous et moi... » Les études montrent néanmoins que leur système immunitaire est affecté par l'environnement spatial, comme le prouve la réactivation de certains virus en dormance (voir l'encadré p. 38). Et les analyses réalisées au moyen d'ANCHOR indiquent qu'il n'y a pas que des amies dans la SSI; des passagers indésirables l'ont infiltrée. La bactérie *F. magna*, qui se tient habituellement dans les intestins,

s'y trouve et peut causer des infections. Quant à la bactérie qui colonise plusieurs bouches humaines, *H. parainfluenzae*, elle répond également présente et possède ce qu'il faut pour devenir un pathogène multirésistant aux antibiotiques.

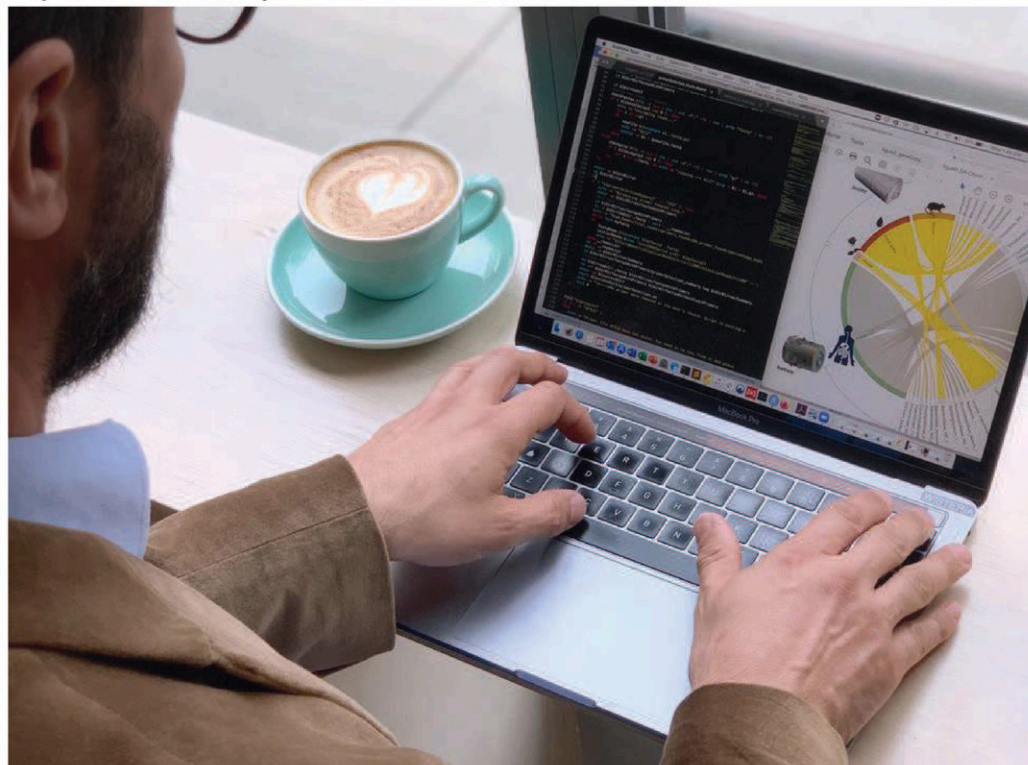
Des analyses de la NASA révèlent que le système de traitement de l'eau est contaminé par deux bactéries du genre *Burkholderia* (*cepacia* et *contaminans*), probablement depuis son assemblage, avant même d'avoir été envoyé vers la SSI, en novembre 2008. Ces bactéries sont des dures à cuire : elles continuent de résister aux traitements de désinfection et de stérilisation du système.

Jusqu'à récemment, Aubrie O'Rourke n'avait jamais travaillé avec ces deux espèces – pas plus qu'avec la NASA. Mais cette chercheuse du J. Craig Venter Institute en Californie étudie depuis longtemps une cousine au potentiel létal, *Burkholderia pseudomallei*. « Elle est endémique en Asie du Sud-Est et dans le nord de l'Australie et vit dans le sol. Certains travailleurs de rizières se coupent et contractent une vilaine infection ou

encore la bactérie peut entrer dans les voies respiratoires. Elle est bien connue pour entraîner des infections persistantes; il s'agit d'ailleurs d'un potentiel agent de bioterrorisme. Quand j'ai vu que deux bactéries du même genre traînaient dans le système d'eau potable de la SSI, je me suis dit que ce ne devait pas être génial. » Elle a proposé un projet de recherche à la NASA, qui l'a accepté. Il consistait à vérifier si les deux espèces se comportaient de la même façon dans l'espace que sur Terre, où elles sont un problème essentiellement pour les personnes atteintes de fibrose kystique, tandis que leur capacité à survivre dans l'eau distillée est une préoccupation en milieu hospitalier. Aubrie O'Rourke voulait notamment déterminer si ces bactéries conservaient la même virulence et la même faculté de former des biofilms (une communauté tricotée serrée et collée sur une surface).

Car la Terre et l'espace sont des milieux très différents. « La microgravité est un environnement qui ressemble au corps humain pour les microbes. Cela a pour

Emmanuel Gonzalez et ses collègues Nicholas Brereton et Frédéric Pitre ont retracé la présence, actuelle ou passée, d'une variété d'organismes dans la SSI. Un diagramme résume leurs trouvailles.



effet de les allumer, de les préparer pour l'infection. L'autre aspect, c'est le rayonnement cosmique galactique, qui traverse les bactéries et entraîne de larges brisures de leur ADN. Plus la coupure est large, plus la réparation est grande et plus il y a de possibilités de mutations » susceptibles de modifier le comportement d'un microbe. (Ces radiations seront encore plus intenses lors des missions lointaines.)

La chercheuse a obtenu des échantillons prélevés dans la SSI et les analyses ont révélé que le pouvoir pathogène des deux bactéries demeure équivalent, tout comme leur réponse aux antibiotiques. Toutefois, certains isolats avaient le pouvoir accru de former des biofilms. « On a aussi montré que *B. contaminans* produit un antifongique qui a un effet cytotoxique sur les lignées cellulaires humaines. » Bref, c'est à surveiller pour les dernières années de vie de la SSI, qui tirera sa révérence en 2024.

Cependant, la scientifique estime que la concentration de bactéries dans l'eau n'est pas une bonne façon de déterminer si elle est potable, bien que ce soit l'indice utilisé actuellement. « Il faut opérer un virage pour inclure dans la décision *quels* microbes sont présents. De plus, si un astronaute attrape un microbe muté là-haut et le rapporte sur Terre, quels sont les risques ? »

## HALTE AUX MOISSURES

La Station spatiale internationale a déjà eu des problèmes de moisissures : dans un détecteur de fumée en 2001; dans le module Zaria en 2004, là où les astronautes faisaient sécher des vêtements; dans le système de filtration de l'air en 2007. Les astronautes de la SSI nettoient donc régulièrement les surfaces à risque pour éviter d'avoir des troubles respiratoires. Car personne ne veut vivre ce par quoi la station russe *Mir* est passée... même si Nicole Buckley avoue que c'est une histoire assez fascinante pour la microbiologiste qu'elle est.

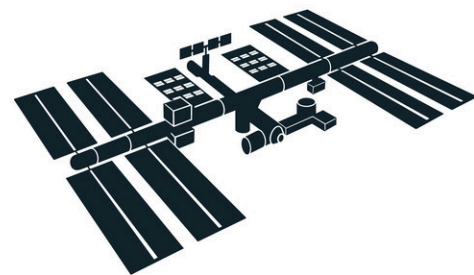
Tout a commencé à la fin des années 1990, alors que la station était en orbite terrestre depuis plus de 10 ans. « *Mir* avait connu des pannes de courant et cela s'est traduit par des problèmes de contrôle de l'humidité », raconte M<sup>me</sup> Buckley.

Les Russes et les Américains ont donc voulu étudier la présence de microorganismes dans la station. En ouvrant un panneau d'alimentation rarement touché, les astronautes ont trouvé une masse d'eau flottante de la taille d'un ballon de basket. Ils en ont découvert deux autres derrière d'autres panneaux, bien au chaud. L'eau n'était jamais claire... plutôt brune ou blanchâtre. « C'était de parfaits petits microcosmes ! » dit Nicole Buckley.

Des prélèvements de ces boules inquiétantes ont mis au jour la présence de plusieurs champignons ainsi que des bactéries pathogènes *E. coli*, *S. marcescens* et d'une espèce du genre *Legionella*, selon les résultats publiés dans la revue savante *Microbial Ecology* quelques années plus tard. Les moisissures proliféraient également sur le tour des fenêtres. Il paraît que *Mir* sentait le sous-sol humide où l'on aurait laissé vieillir des pommes...

À l'Astrobiology Science Conference de 2019, une équipe allemande a par ailleurs montré que les spores d'une espèce d'*Aspergillus*, le genre le plus fréquent dans *Mir* et dans la SSI, peuvent survivre à un niveau de radiation 200 fois plus intense que celui pouvant tuer les humains. Cela signifie que l'espèce pourrait potentiellement coloniser les éventuels objets célestes visités, alors que le Traité de l'espace de 1966 stipule que les missions doivent se garder de contaminer le système solaire.

Après l'épisode exultant de la SSI, les chercheurs montréalais ont utilisé leur méthode ANCHOR dans le cadre d'études portant sur les communautés bactériennes présentes dans le compost, les eaux usées et le lait maternel ainsi que chez les patients atteints de fibromyalgie, du VIH et d'un cancer du côlon. Ils ont récemment obtenu des fonds de l'Agence spatiale canadienne pour étudier le microbiote intestinal des six participants à l'étude Mars500, achevée en 2011 après avoir simulé une mission spatiale de 520 jours. « Nous sommes contactés par de plus en plus de gens pour des collaborations, indique Emmanuel Gonzalez. Ce sont toujours des histoires passionnantes ! » ●



## BACTÉRIES MANGEUSES DE SSI

Certains microorganismes risquent de mettre à mal la Station spatiale internationale elle-même. Ils peuvent causer la dégradation de certains polymères et métaux — même de l'acier inoxydable ! Des bactéries et champignons connus pour les ravages qu'ils causent à des matériaux sur Terre (les genres *Methylobacterium*, *Sphingomonas*, *Bacillus*, *Penicillium* et *Aspergillus*) ont été détectés dans la SSI, selon une étude américaine publiée en 2019 dans *Microbiome*. Leur comportement dans l'espace reste toutefois à documenter. À l'époque de la station *Mir*, la destruction progressive d'une fenêtre du module de descente a été attribuée principalement à trois coupables : *Bacillus polymyxa*, *P. chrysogenum* et une espèce du genre *Aspergillus*, d'après un article scientifique de 1999. Ce dernier soulignait l'importance de surveiller la biocorrosion dans les missions spatiales pour prévenir tout bris d'équipement.



# LE RETOUR DU DIRIGEABLE

En 2019, Québec investissait des millions de dollars dans une entreprise française peu connue : Flying Whales, qui fabrique des dirigeables. Est-ce le retour en force d'une technologie déchue ou un mirage de science-fiction ?

**PAR ANNE-HÉLÈNE MAI**

**N**ous sommes en 1937. Le *Hindenburg* est une fierté du régime nazi. Long de 245 m, il est le plus grand dirigeable jamais construit. Ce paquebot du ciel propulsé par quatre moteurs diésels assure régulièrement la liaison Berlin-New York pour les voyageurs les plus aisés. Véritable bijou technique, il effectue ce trajet en trois jours, soit trois fois plus rapidement qu'un bateau. La firme allemande Zeppelin semble la seule capable de poursuivre ce rêve futuriste, alors que ses concurrents en Italie, au Royaume-Uni et en Grande-Bretagne accumulent les

échecs. Le 6 mai 1937, le réveil est brutal : le « *Titanic* des airs » s'écrase en flammes alors qu'il descend vers sa tour d'amarrage de Lakehurst, dans le New Jersey. La catastrophe fait 34 morts et signe la fin des vols commerciaux par dirigeable.

Au cours des années suivantes, le traumatisme tempèrera les ambitions. Les États-Unis et, à moindre échelle, l'Union soviétique, tenteront de faire usage de dirigeables plus petits, dits « blimps ». La marine américaine s'en servira comme engins de surveillance. Les blimps fonctionnaient à l'hélium, un gaz que les États-Unis conservaient jalousement depuis 1927 – une décision qui a contribué au funeste destin du *Hindenburg*, condamné à utiliser de l'hydrogène.

Depuis les années 1970, des blimps comme ceux de la firme américaine

Goodyear circulent encore dans le ciel. Ils font office de panneaux-réclames ou de navires aériens de croisière, mais uniquement pour quelques heures et seulement par beau temps.

Toutefois, à l'heure où les changements climatiques et les enjeux énergétiques poussent les ingénieurs à chercher des solutions de transport, les vertus du dirigeable inspirent de nouveau. L'automne dernier, Québec annonçait un investissement de 30 millions de dollars dans une entreprise française peu connue des contribuables : Flying Whales, qui fabrique des dirigeables. L'entreprise en démarrage veut changer la donne du transport de charges lourdes ou de denrées dans les régions éloignées. Cette technologie d'antan pourrait être une occasion pour le Québec de devenir le chef de file international d'un mode de transport durable. Pouvons-nous nous autoriser à en rêver ?

## SORTIR DU NUAGE

Le Manitobain Barry Prentice en rêve, lui, depuis 20 ans. Le professeur de gestion logistique et des transports de l'Université du Manitoba s'est inquiété dès les années 2000 de la viabilité des chemins de glace de la province, menacés par le réchauffement planétaire. Or, ces routes relient plusieurs communautés isolées du nord du Canada aux plus grands centres qui leur fournissent vivres et matériaux de construction. « Construire et entretenir des routes dans ces régions est particulièrement onéreux, explique M. Prentice. Or, le dirigeable peut se rendre n'importe où et transporter des dizaines de tonnes de matériel. »

Depuis 2002, il organise les conférences Airships to the Arctic pour réunir les spécialistes susceptibles de travailler à la conception de dirigeables. Selon lui, ces engins pourraient aussi aider à patrouiller dans les territoires nordiques et à gérer des fuites de pétrole ou d'autres urgences quand le trafic commercial s'intensifiera autour du pôle Nord libéré des glaces. Dans le même objectif, le professeur a fondé en 2005 l'organisation ISO Polar Airships, qui encourage l'usage des dirigeables pour le transport de fret. Il a également mis en place un centre de recherche consacré à ces aérostats, le Buoyant Aircraft Systems

International. Mais ses initiatives se sont heurtées au scepticisme du milieu des affaires et des gouvernements. « Dans le secteur minier, les moyens d'accès et de transport sont cruciaux. Des terres riches en ressources sont souvent isolées et la construction de routes représente un coût énorme. Malgré cela, on m'a répondu que l'investissement dans les dirigeables était trop risqué », rapporte Barry Prentice.

Les désastres du siècle dernier sont toujours bien présents dans l'imaginaire collectif. Et malgré les progrès techniques, ces ballons ellipsoïdes restent chers à fabriquer et, surtout, complexes à manœuvrer.

Les doutes quant à la fiabilité des dirigeables ont eu raison de nombreuses tentatives dans les dernières décennies. L'entreprise allemande CargoLifter AG a fait faillite en 2012, alors qu'elle s'était donné la mission depuis 1994 de bâtir d'immenses hangars et de concevoir des ballons pouvant lever 100 tonnes (t). Varialift Airships, au Royaume-Uni, travaille depuis 2004 sur un dirigeable en aluminium qui aurait une capacité de 250 t et fonctionnerait à l'énergie solaire. Mais l'entreprise n'est pas parvenue à fabriquer un prototype entier. En 2011, la compagnie Discovery Air, basée à Yellowknife, s'était montrée intéressée par l'achat de dirigeables d'une contenance de 50 t à l'entreprise britannique Hybrid Air Vehicles. Elle s'est ravisée l'année suivante. Le premier prototype du fabricant a subi deux accidents en 2016 et 2017.

Le géant américain de matériel de défense et de sécurité Lockheed Martin est lui aussi dans la course et il s'en sort mieux. L'inauguration de ses dirigeables a été repoussée d'année en année, mais il bénéficie au Québec d'un intérêt marqué de la part de la compagnie minière Tornat Metals pour le transport du minerai jusqu'à Schefferville. L'organisme Gestion Schefferville a rempli une demande de financement auprès de Québec pour acquérir plusieurs appareils et construire un aéroport adapté.

Selon Barry Prentice, Lockheed Martin est sur la bonne voie grâce à l'appui financier de l'armée américaine. « Avec les dirigeables, *you can't start small*, affirme-t-il. Pour beaucoup de technologies, il est possible de commencer dans son

garage. Là, il faut un garage gigantesque ! » L'investissement dans Flying Whales annoncé par Québec est une belle récompense pour les années de militantisme du professeur. « Les gouvernements français et québécois sont les premiers en 80 ans à investir dans des dirigeables civils », souligne-t-il. Et c'est ce qui change tout.

« Beaucoup de gens rêvent de dirigeables, mais il y a finalement peu de projets concrets à l'échelle mondiale », constate également Romain Schalck, de l'équipe de Flying Whales à Paris. « Le ciel est dominé par le gouvernement, ajoute Barry Prentice. C'est lui qui décide de ce qui vole et atterrit, où et quand... Donc, si le gouvernement ne se montre pas encourageant, cela crée de l'incertitude auprès des investisseurs. »

## LA PROPOSITION DE FLYING WHALES

Le gouvernement du Québec s'intéresse aux dirigeables depuis plusieurs années déjà. « Le dirigeable peut, comme les drones quadricoptères ou les hélicoptères, rester en vol stationnaire pour le chargement et le déchargement. Mais sa valeur ajoutée, c'est son autonomie », indique David Saint-Onge, professeur en aérospatiale au Département de génie mécanique de l'École de technologie supérieure de Montréal. Le gaz porteur évite de consommer de l'énergie pour lever l'appareil et le maintenir dans les airs. Ainsi, il peut se déplacer sur de plus grandes distances et flotter au même endroit sur une plus longue durée.

Un premier projet québécois, celui de LTA Aérostructures, a échoué en 2017, alors que la firme américaine basée à Montréal comptait installer son usine d'assemblage à Mirabel. Pendant ce temps, la jeune pousse française Flying Whales multipliait les partenariats prometteurs avec le groupe chinois AVIC General Aircraft ainsi que l'Office national des forêts et la Banque publique d'investissement en France. « Je comprends la décision du Québec d'investir, dit le consultant en aéronautique Laurent Ducom, qui travaille présentement avec Flying Whales. J'en ai vu d'autres, des cas de "On pourra faire plein de choses avec notre invention, mais on ne sait pas quoi encore"... Flying Whales a une application bien définie avec des clients qui font partie du projet. »



Le Hindenburg en flammes (1937)



Passage du dirigeable R-100 au-dessus de la gare Windsor du Canadien Pacifique (août 1930)

Vue d'artiste du dirigeable en aluminium de la compagnie britannique Varialift Airships. Il aurait une capacité de 250 t et fonctionnerait à l'énergie solaire.



En effet, ce sont les besoins de l'Office national des forêts qui ont inspiré au fondateur de Flying Whales, Sébastien Bougon, l'idée d'un appareil pouvant récupérer le bois des forêts des Alpes françaises, confronté à des pentes abruptes et à des conditions atmosphériques particulières, sans avoir à se poser au sol.

L'équipe, composée de chercheurs, d'étudiants et de spécialistes en aéronautique hors normes, veut produire un ballon de 154 m de long sur 43 m de haut d'une capacité de 60 t. « On s'est arrêtés sur 60 t par rapport aux besoins du marché, précise Romain Schalck. Mais nous aurons une marge de manœuvre d'une dizaine de tonnes grâce à la motorisation. » Le dirigeable ne touchera jamais le sol, même dans son hangar.

Flying Whales s'est entourée d'un consortium d'entreprises spécialisées dans des technologies préexistantes qu'il reste à adapter et assembler pour fabriquer l'aérostat et tout ce qui servira à ses opérations. Parmi elles, le Groupe ADF, pour mettre au point un système de capteurs qui guideront le dirigeable vers l'intérieur du hangar, puis qui l'en sortiront aligné au vent avant de déverrouiller ses points d'attache. L'Aéroport de Paris également, pour concevoir un réseau de bases d'amarrage et de hangars à travers le monde. L'objectif est de produire 150 dirigeables en France, en Chine et au Québec d'ici 10 ans.

## UN PUZZLE À ASSEMBLER

Pour David Saint-Onge, spécialisé en téléopération des aéronautiques, les progrès techniques des dernières années ne sont pas étrangers au regain d'intérêt pour

les dirigeables. « On a maintenant des matériaux qui permettent d'avoir des coquilles solides beaucoup plus légères. Elles résistent mieux à la grêle, aux oiseaux ou à la manipulation lors du stationnement, explique-t-il. Elles permettent un vol plus stable aussi, tandis que les membranes souples ont une élasticité, elles rebondissent et changent de forme selon la pression. » Grâce à l'impression 3D métallique, il est possible de créer des structures en treillis extrêmement fines, de l'ordre du micromètre.

Néanmoins, si le ballon est l'atout du dirigeable, il est aussi son talon d'Achille. « Son enveloppe est aérodynamique, mais elle reste tout de même une grande voile. Pour rester immobile, l'aérostat doit constamment se battre contre les rafales de vent, ce qui demande beaucoup d'énergie et une capacité de réaction implacable. »

Comment charger de marchandises un appareil qui pourrait être emporté sur plusieurs mètres au rythme des bourrasques? Le maintien au sol demande énormément de force et une fâcheuse tempête pourrait tout briser. Barry Prentice a eu l'idée d'une plateforme d'atterrissage en forme de table tournante. « L'appareil serait attaché à la plateforme rotative, qui à son tour suivrait les mouvements du ballon selon la direction du vent. » Il réfléchit aussi avec David Saint-Onge et une douzaine d'autres chercheurs canadiens à un système de réception mobile amené par camion dans des communautés nordiques.

Pour sa part, Flying Whales mise sur des points de propulsion placés stratégiquement sur chaque côté de l'appareil pour assurer sa stabilité et des mouvements contrôlés. « Le dirigeable a une inertie très

forte. C'est un peu comme un sous-marin des airs », mentionne Romain Schalck. Avec l'énergie électrique, la répartition de l'afflux dans chacun des propulseurs se fait de manière plus fluide qu'avec du carburant. Ainsi, le dirigeable sera hybride dans un premier temps : le kérosène sera transformé en énergie électrique. L'appareil, qui est destiné à devenir tout électrique grâce à des piles à hydrogène, consommera dès ses débuts de 15 à 20 fois moins de carburant qu'un des hélicoptères les plus puissants, le Super Puma d'Airbus, capable de soulever un maximum de quatre tonnes.

Bien qu'il soit deux fois moins léger que l'hydrogène, l'hélium demeure le produit de choix de Flying Whales. L'entreprise souhaitait obtenir rapidement le feu vert des autorités de certification, et l'hydrogène et ses dangers lui auraient mis des bâtons dans les roues. De son côté, Barry Prentice est un fervent défenseur de ce gaz envoyé aux oubliettes depuis la tragédie du *Hindenburg*. « On en sait plus sur l'hydrogène qu'à l'époque, fait-il observer. Le Canada a suivi les États-Unis dans l'interdiction de l'hydrogène pour les dirigeables en 1922... Or, de nos jours, il peut être plus sécuritaire et surtout plus accessible, alors que les pénuries d'hélium sont fréquentes. »

La rareté de l'hélium n'inquiète pas l'équipe de Flying Whales. « Il sera conservé dans des cellules de gaz réparties dans le ballon, nous ne le consommerons pas comme un carburant », rassure Romain Schalck. Les cellules de gaz vont s'étendre en prenant de l'altitude et se contracter en se rapprochant du sol, ce qui permettra d'ajuster la portance en vol selon la pression atmosphérique.



1783

Le premier vol aérostatique de l'histoire a lieu à Versailles. Les frères de Montgolfier montrent leur invention, un ballon de coton et papier gonflé par un feu de laine et de paille mouillée. Des animaux sont les premiers passagers.

1852

L'ingénieur français Henri Giffard fabrique le premier ballon dirigeable. Long de 44 m, il parcourt 27 km, propulsé par la vapeur.

1900

L'inventeur allemand Ferdinand von Zeppelin crée le *LZ-1*, premier appareil à structure rigide en forme de cigare de 128 m de long.

1910

La Deutsche Luftschiffahrt Aktiengesellschaft est la première compagnie de transport aérien commercial. Elle utilise des dirigeables rigides Zeppelin.

1914-1918

L'armée allemande utilise des Zeppelin pour bombarder Londres et Paris d'une très haute altitude, hors de portée des avions. Après l'armistice, les dirigeables allemands sont confisqués.

1926

Le dirigeable *Norge*, conçu par l'Italien Umberto Nobile, est le premier appareil à survoler le pôle Nord.

1929

Le *LZ 127 Graf Zeppelin* effectue le tour du monde en 21 jours, dont 12 jours en vol.





Vue d'artiste du dirigeable Flying Whales transportant du bois

## FLYING WHALES AMERICA

Au mois d'avril dernier, Flying Whales devait prendre son envol au Québec avec l'inauguration de ses bureaux montréalais. Mais pandémie de COVID-19 oblige, l'installation se fera d'ici la fin de l'été, dit Arnaud Thioulouse, qui est à la tête du développement de programmes de Flying Whales Québec. Avec des experts locaux, il doit mener des recherches sur la propulsion hybride ainsi que l'avionique et l'intelligence embarquées. Puis il explorera le marché du Grand Nord, déjà lorgné par Lockheed Martin. « Il est clair que l'entreprise nous perçoit comme un concurrent », a établi Sébastien Bougon

lors d'un point de presse en novembre 2019. Les appareils utilisés en Amérique seront fabriqués au Québec. Adaptés au climat local, ils ne pourront cependant pas décoller en cas de conditions givrantes ou si les nuages sont trop bas. « Mais le dirigeable a un plafond d'opération de 3 000 m d'altitude », signale Arnaud Thioulouse. Il y a donc de la marge. « Pour aller plus haut, il nous faut plus de distance. Or, nous ne ferons pas de trajets de milliers de kilomètres. » Le dirigeable servira de pont à partir des gares, des ports, des camions vers les mines et les villages, déclare-t-il. « Il n'est pas question de traverser

le Canada en dirigeable. » Une fois reconstruites et stabilisées, ces baleines volantes deviendront-elles les chefs de file d'un marché de transport intermédiaire, entre l'avion, le train et le bateau ? Dans la quête actuelle de modes de déplacement moins dommageables pour l'environnement, il peut valoir la peine de se replonger dans les bonnes idées du passé, comme on l'a fait avec la voiture électrique. Comme l'a dit Laurent Ducom, « s'il y a 10 ans le gouvernement du Québec avait investi dans Tesla, tout le monde aurait parié que ça ne mènerait à rien ». ●

1930

L'appareil *R-100* de l'Empire britannique s'écrase en France alors qu'il effectuait sa première liaison Londres-Bombay et fait 48 morts. Le Royaume-Uni interdit l'usage de l'hydrogène pour les ballons.

1935

Après de nombreux accidents, la US Navy cesse l'usage de dirigeables rigides. Seuls les blimps, souples, volent.

1937

Le plus grand dirigeable jamais construit, le *Hindenburg*, s'enflamme lors de son atterrissage à Lakehurst, dans le New Jersey. Il avait effectué 63 voyages à travers le monde.

1957

En mars, le *Snow Bird*, de l'entreprise américaine Good-year, établit le record d'endurance : il vole durant 11 jours, traversant deux fois l'Atlantique sans jamais toucher le sol.

1980

Dans ces années, l'entreprise britannique Thunder & Colt crée le premier dirigeable équipé de commandes de vol électriques, le GA-42.

2004

Le 27 octobre, l'aventurier Steve Fossett enregistre le record du monde de vitesse moyenne à bord de son dirigeable à moteur thermique Zeppelin NT : 115 km/h.

2020

Flying Whales s'installe à Montréal. Le Grand Nord canadien représente un marché potentiel.



Si *Québec Science* est aux premières lignes pour vous informer sur la COVID-19 depuis le début de la pandémie, son équipe a franchement besoin de se changer les idées une fois la journée de travail terminée! Pour vous inspirer à votre tour, voici les petits bonheurs culturels (liés de près et d'un peu moins près à la science) qui nous ont fait l'effet d'un bon bain chaud.

## PETITS ET GRANDS BONHEURS D'OCCASION

**J**e commence! Mon refuge a été la conquête de l'espace, qui a procuré tellement d'émotions fortes dans les années 1960. Dans le livre *Apollo 8* (2018), le journaliste scientifique Jeffrey Kluger revient sur les exploits incroyables des premiers astronautes envoyés autour de la Lune. Il avait déjà montré, avec *Apollo 13* (1994), son doigté pour livrer des récits exaltants. Il récidive en servant moult détails excitants, au sol comme en orbite, sur cette première mission vers la Lune où le retour de l'équipage était loin d'être assuré. Et puisque derrière chaque astronaute se trouve une femme qui lui permet de briller, *The Astronaut Wives Club* (2014), de Lily Koppel, donne la parole aux conjointes des pilotes de l'époque Mercury et Apollo. Un document précieux, truffé de confidences sur la vie domestique, les amitiés, les rivalités et les jeux de coulisses.

**Marie Lambert-Chan** : Les personnages de *Toute la lumière que nous ne pouvons voir*, d'Anthony Doerr (2015), la lecture du moment de notre rédactrice en chef, sont des chercheurs dans l'âme. Il y a Werner, un adolescent allemand qui maîtrise les ondes électromagnétiques comme pas un, qui sera recruté par la Wehrmacht bien malgré lui. Et il y a Marie-Laure, une jeune aveugle française dont le père est le serrurier du Muséum national d'histoire naturelle à Paris. « À travers eux, on arrive à voir la beauté du monde, même si ce dernier s'écroule. »

**Marine Corniou** : Une fort intrigante fiction a attiré l'attention de notre journaliste : *Le bal des folles*, un roman de Victoria Mas sur la façon dont on internait les femmes « hystériques » (dont les filles violées, les rebelles et celles qui étaient épileptiques) dans un hôpital parisien au 19<sup>e</sup> siècle. Une fois par an, on costumait ces « folles » et l'on invitait la haute société à venir les côtoyer à l'occasion d'un bal. « Une réflexion intéressante sur le rapport entre les médecins, hommes tout-puissants, et leurs patientes vulnérables qu'on donnait en spectacle au nom de la science. »

**Annie Labrecque** : « Les monstres, est-ce que c'est de la science? » demande à la blague notre journaliste Web et gestionnaire des médias sociaux. Après s'être enfin mise à la série *Stranger Things*, elle a plongé dans l'imposant roman graphique *Moi, ce que j'aime, c'est les monstres*, d'Emil Ferris. Une jeune fille enquête sur le suicide de sa voisine dans cette bédé intense et dense.

**Mélissa Guillemette** : Deux beaux livres pas du tout récents sont lus en rotation chez notre journaliste, à la demande de ses deux petits loups : *Antarctique* (1997), de Mike Lucas, et *Le Saint-Laurent : beautés sauvages du grand fleuve*, d'Annie Mercier et Jean-François Hamel (2000). « Le récit des différents stades de vie des icebergs et la découverte des organismes des profondeurs de l'estuaire sont assez reposants! » Aussi sur sa table de chevet : *La philosophie à l'abattoir*, de Jean-François Labonté et Christiane Bailey. « Les enjeux moraux autour du bacon me font penser à autre chose qu'au virus... et aux questions éthiques à son sujet. »

**Natacha Vincent** : Dans la chaumière de notre directrice artistique, la famille se réunit autour de *Trivia Crack*, un divertissant jeu-questionnaire sur tablette. Il permet de se muscler le cerveau dans six catégories (dont la science) et l'on peut même faire équipe avec ses copains ou disputer une partie contre grand-maman qui habite dans la ville d'à côté.

## Classer, classer

Les amateurs de jeux vidéo ayant envie de faire d'un nucléotide deux coups seront ravis de rendre service à la recherche tout en s'amusant avec *Borderlands Science*, un contenu intégré à même le jeu *Borderlands 3*.

Imaginé par des chercheurs de l'Université McGill, en collaboration avec le Massively Multiplayer Online Science et le Microsetta Initiative, le concept consiste en une série de casse-têtes à résoudre afin de cartographier les bactéries du microbiote intestinal. Puisque les ordinateurs sont incapables d'organiser les données sans faire d'erreurs, les joueurs sont ainsi mis à profit pour les corriger dans un jeu rappelant un peu *Tetris*. Cette science participative aidera entre autres à enrichir le catalogue universel des microbes que les scientifiques du monde entier utiliseront pour trouver des traitements novateurs et mieux comprendre ce « deuxième cerveau ».

**Borderlands Science**, intégré à *Borderlands 3*, [tinyurl.com/y6wlucsv](http://tinyurl.com/y6wlucsv)



## Derrière le champignon de Paris

Ils décomposent les corps et font place aux prochaines formes de vie; ils soignent, nourrissent, font planer et pourraient même sauver la planète, rien de moins! Si les champignons sont comme de petits superhéros qui n'ont pas encore leur univers Marvel, ils ont désormais leur film, *Fantastic Fungi*. Ce documentaire immersif est aussi ensorcelant que son sujet. On découvre comment s'étend le mycélium, ce réseau souterrain de filaments blancs formé par ces eucaryotes. Le potentiel hallucinant (et méconnu) de cet organisme est expliqué par le mycologue américain Paul Stamets et de nombreux experts. Et comme si les champignons n'étaient pas assez spectaculaires, les images en accéléré de ces beautés déployant leur jupe de dentelle et celles de leurs chapeaux ondulant au vent comme des clochettes finissent de nous convaincre que ces petites choses, qui ont survécu à plusieurs extinctions de masse, sont des êtres avec lesquels on a tout intérêt à frayer. Sauf pour ce qui est des espèces toxiques, bien sûr...

**Fantastic Fungi**, par Louie Schwartzberg, en ligne sur [fantasticfungi.com](http://fantasticfungi.com). En anglais.



## Toujours dans la Lune

Quelle intense période historique que celle de la conquête de l'espace quand les Soviétiques et les Américains se livraient une chaude lutte pour la première place sur le podium de l'exploration spatiale. La science vivait alors de glorieux moments et tout semblait possible. Dans son documentaire jeunesse *La course à l'espace : de Spoutnik à l'alunissage et au-delà*, la maison d'édition La Pastèque s'assure de transmettre à une nouvelle génération cet important chapitre de notre histoire. Il revient sur les épisodes marquants – tragédies, succès, échecs – qui se sont déroulés entre la création des premières fusées il y a 800 ans et celle de la Station spatiale internationale. Ham le chimpanzé, John Glenn et les fusées iconiques n'auront plus de secret pour les jeunes, à qui l'on parle ici comme à des adultes. Les superbes illustrations rétro de Paul Daviz immortalisent les événements dans ce livre qui, pour un jeune public, ne lésine pas sur les détails.

**La course à l'espace : de Spoutnik à l'alunissage et au-delà**, par Clive Gifford et Paul Daviz, La Pastèque, 64 p.



## Remède aux jours gris

Que vous soyez pharmacien de profession ou que vous aimiez flâner dans les pharmacies à la recherche d'un remède aux petits et grands maux, *Nouvelle ordonnance : quatre siècles d'histoire de la pharmacie au Québec* est une prescription qui vous fera du bien. L'essai illustré remonte le cours de l'histoire pour raconter l'origine de la profession. On fouille la pharmacopée amérindienne et l'on découvre les rares apothicaires venus s'établir en Nouvelle-France. On y revient sur les rivalités avec les médecins, ainsi que sur les nombreuses lois régissant le contrôle des médicaments. On suit également les multiples réformes de l'enseignement et du corpus scolaire des futurs pharmaciens. Et puisque l'auteure Johanne Collin, sociologue et historienne, n'a pas été avare de détails, qu'elle sait communiquer avec dextérité, les curieux apprendront des faits surprenants sur les pratiques discutables, les potions obscures et l'essor des femmes dans la profession.

**Nouvelle ordonnance : quatre siècles d'histoire de la pharmacie au Québec**, par Johanne Collin, en collaboration avec Denis Béliveau, Les Presses de l'Université de Montréal, 404 p.



# Les vacances, c'est ici : à vélo, au Québec, *En liberté!*

Cet été, Vélo Québec Voyages vous propose une collection de ses plus beaux itinéraires au Québec. Découvrez-les avec vos proches, aux dates de votre choix, en formule *En liberté*.



## Plaisirs gourmands dans les Cantons

Cantons-de-l'Est **3 JOURS**

*Choix de trois escapades*

De Bromont à Orford  
De Farnham à Bromont  
De Granby à Lac-Brome

## Bonheur cycliste au fil de l'eau

Côte-du-Sud **3 JOURS**

De Lévis à Montmagny

Bas-Saint-Laurent

**5, 6 OU 7 JOURS**

De Montmagny à Rivière-du-Loup

Bas-Saint-Laurent Est

**5, 6 OU 7 JOURS**

De La Pocatière à Rimouski

Bas-Saint-Laurent-  
Gaspésie **6 JOURS**

De Rivière-du-Loup à Matane

## Enchantement sur le chemin du Roy

Lanaudière **3 JOURS**

De Saint-Roch-de-l'Achigan  
à Joliette

Lanaudière et Mauricie

**3 JOURS**

De Saint-Barthélemy à Trois-Rivières

Montréal-Québec

**4, 5 OU 6 JOURS**

De Montréal à Québec



La formule *En liberté* inclut l'hébergement, le transport du bagage, les itinéraires exclusifs et les petits-déjeuners.

**Réservez vos vacances!**

**veloquebecvoyages.com**  
514 521-8356 • 1 800 567-8356, poste 506



**Vélo Québec**  
VOYAGES

Photo : Didier Bertrand

Titulaire d'un permis du Québec



# Les tribunaux du climat



uccession d'accords internationaux, tarification de la pollution, manifestations monstres : depuis plus de 30 ans, on a usé de toutes les stratégies afin d'endiguer la crise climatique. Mais rien ne semble suffisant...

Aux grands maux les grands remèdes : des individus, des organisations et même des États ont décidé de mettre littéralement au banc des accusés les responsables de la crise climatique. Depuis 1986, le Sabin Center for Climate Change Law et le

Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment ont recensé quelque 1 000 poursuites contre des entreprises et des gouvernements pour des motifs environnementaux. La clé du succès de l'action climatique pourrait-elle résider dans les procédures judiciaires ?

Pour y voir plus clair, examinons quelques cas. En Grande-Bretagne, la cour d'appel a récemment donné raison à l'organisation non gouvernementale (ONG) Plan B Earth en jugeant illégal le projet de construction d'une troisième piste à l'aéroport international d'Heathrow... parce que le projet allait à l'encontre des engagements du gouvernement quant à l'Accord de Paris. Une première en la matière !

Aux Pays-Bas, la cause *Urgenda Foundation v. The State of the Netherlands* a fait grand bruit. Une ONG environnementale et plusieurs centaines de personnes cherchaient à contraindre l'État à en faire plus pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES). Dans cette cause exceptionnelle, les trois niveaux de tribunaux, incluant la Cour suprême des Pays-Bas, se sont prononcés en faveur des plaignants : le gouvernement doit réduire ses émissions de GES de 25 % par rapport à celles de 1990 d'ici la fin de 2020.

À l'opposé, la cause *Juliana v. United States* n'a pas été couronnée de succès après quelque cinq ans de procédures préliminaires. Des adolescents et des jeunes adultes voulaient démontrer que le gouvernement américain avait violé leurs droits constitutionnels à un environnement sain et, ainsi, le forcer à réduire sa consommation de combustibles fossiles. Bien que la cause n'ait pas été acceptée et que les juges aient déterminé que ce n'était pas au tribunal de légiférer sur les politiques climatiques, ces derniers ont tout de même estimé que les plaignants avaient été lésés par l'inaction climatique du gouvernement. C'est pourquoi les adolescents et leurs avocats ont fait appel de la décision.

Au Canada, un cas analogue a été présenté par Environnement Jeunesse. Les plaignants considèrent que le gouvernement fédéral a désigné des cibles de réduction des émissions de GES peu ambitieuses et portant atteinte au droit à la vie et à la santé des Québécois et Québécoises de 35 ans et moins. Même s'il a été reconnu que les répercussions des changements climatiques sur les droits à la vie et à la santé humaines sont une question justiciable, la Cour supérieure a néanmoins rejeté la cause parce que la limite d'âge invoquée par les plaignants était aléatoire et non objective. Ici aussi, la cause a été portée en appel.

Ainsi, comme pour les centaines d'autres litiges recensés, le bilan est mitigé. Pourquoi ? Sur le plan juridique, il est très difficile d'établir un lien de causalité entre une source précise de GES et son incidence climatique. Néanmoins, les analyses du Sabin Center for Climate Change Law et du Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment indiquent que l'approche semble prometteuse, même s'il n'y a pas suffisamment de données pour bien mesurer son influence. D'après leurs chiffres, à l'extérieur des États-Unis, les défenseurs du climat ont plus souvent gain de cause : environ 43 % des 305 recours menés ces 15 dernières années ont abouti à un résultat favorable. Aux États-Unis, l'effet inverse a été observé entre 1990 et 2016, alors que les actions en justice nuisibles aux avancées climatiques ont surpassé les recours favorables dans un ratio de 1,4 pour 1.

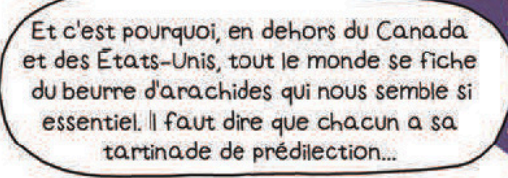
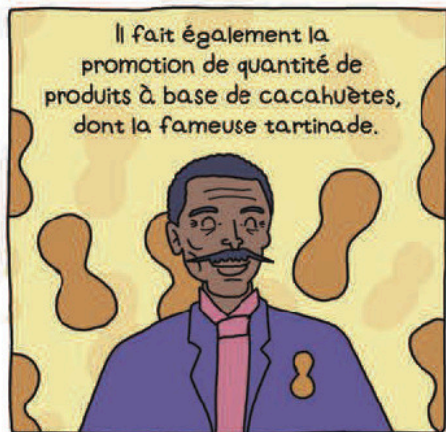
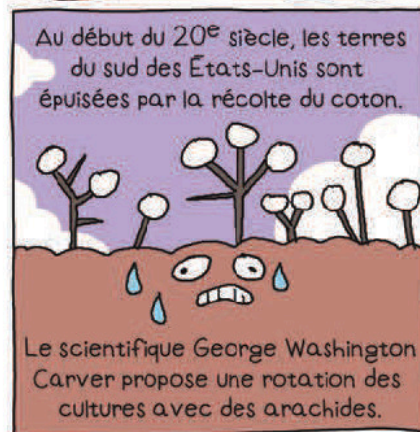
J'ai eu la chance d'en discuter avec Jacynthe Ledoux, avocate en droit autochtone et en droit de l'environnement chez OKT Avocats, et Karine Péloffy, avocate ayant une expertise en droit climatique. Selon elles, même si certaines causes n'ont qu'une portée symbolique, plusieurs permettraient de faire progresser les cadres juridiques nationaux. Par ailleurs, plus la science du climat évolue, plus les outils et arguments à la disposition des avocats sont nombreux pour faire valoir la justice climatique. Devant l'urgence, il est à prévoir que les actions judiciaires continueront à se multiplier et à bonifier la « jurisprudence internationale climatique ». D'ailleurs, l'International Bar Association a créé un « petit manuel d'autodéfense climatique » qui vise à définir le rôle des tribunaux dans la formation de recours obligeant les gouvernements à protéger le public en matière climatique. Il n'y a donc pas de recette miracle, mais j'ose espérer que les apprentissages tirés des jugements internationaux entraîneront l'obligation pour les gouvernements et les entreprises de rendre des comptes. Qui sait, peut-être verrons-nous un jour une sorte de tribunal international du climat ! Farfelu ? Seul le temps le dira... ●

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

# RÉTROVISEUR

L'HISTOIRE DES SCIENCES VUE PAR SATURNOME

Le pharmacien Marcellus Gilmore Edson, un Montréalais installé à Montréal, est à la recherche d'un aliment nutritif qui serait facile à avaler pour les gens qui peinent à mâcher.



Saturnome



# LA PREUVE PAR L'IMAGE

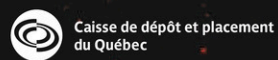
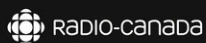


## VOTEZ

pour le prix du public *Découverte*  
jusqu'au 13 septembre 2020

[ici.radio-canada.ca/decouverte](http://ici.radio-canada.ca/decouverte)

Image : Jack Bauer, Université de Montréal





Mobiliser • Innover • Guérir

## Une approche novatrice pour lutter contre le cancer

Par l'entremise de ses projets de grande valeur, l'Oncopole démontre que la collaboration entre les institutions et les chercheurs du pays sont des éléments clés pour que notre système de soins en oncologie soit innovant, cohérent, compétitif et exemplaire.



Pour plus d'information, visitez :

[oncopole.ca](http://oncopole.ca)

Suivez-nous :



@oncopole



Oncopole